

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Optimalizace výrobního procesu snížením manipulační náročnosti

**Production Process Optimization by the Means of Reducing Manipulation
Demands**

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Daniela Cajzlová
Ing. Vladimíra Schindlerová

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniela Cajzlová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 10 Technologický management
Téma: **Optimalizace výrobního procesu snížením manipulační náročnosti**
Production Process Optimization by the Means of Reducing Manipulation Demands

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika řešené problematiky.
2. Teoretická část.
3. Analýza současného stavu.
4. Simulace navrhovaných řešení.
5. Vyhodnocení simulačních experimentů, zhodnocení výsledků.
6. Zhodnocení a zobecnění navržených postupů.

Seznam doporučené odborné literatury:

ZELENKA, A., Král, M. *Projektování výrobních systémů*. 1995, ISBN 80-01-01302-2.
LÍBAL, V. a kol. *Organizace a řízení výroby*. ANTL Praha, 1989, ISBN 80-03-00050-5
MUTHER, R., HAGANÄS, K. *Systematické navrhování manipulace s materiálem*. 1. vyd. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1973. 129 s.
HLAVENKA, B. *Projektování výrobních systémů: technologické projekty*. 3. vyd. Brno : CERM, 2005. ISBN 80-214-2871-6
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladimíra Schindlerová**

Konzultant diplomové práce: Ing. Jiří Holík

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2012

Daniela Cajlová
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3.).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2012

Daniela Cajzlová
podpis

Jméno a příjmení autora práce: DANIELA CAJZLOVÁ

Adresa trvalého pobytu autora práce: HORNOPOLNÍ 295B/41, OSTRAVA 1

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

CAJZLOVÁ, D. *Optimalizace výrobního procesu snížením manipulační náročnosti: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 66 s. Vedoucí práce: Schindlerová, V.

Diplomová práce se zabývá optimalizací procesu, který představuje manipulaci materiálu za pomoci vysokozdvížných vozíků v podniku automobilového průmyslu. Cílem je snížení množství neproduktivních jízd vznikajících následkem chaotického pohybu vysokozdvížných vozíků v provozu. V rámci řešení zadaného problému jsem navrhla systém práce, podle kterého se obsluha vysokozdvížných vozíků bude řídit a tím dojde k snížení vzniku neproduktivních jízd. Dalším navazujícím řešením je pohled na celou problematiku z hlediska změny počtu pracujících vozíků a z ní vyplývající finanční úspory. Navržený systém práce a změny počtů pracujících vozíků byly provedeny za pomoci simulačního programu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

CAJZLOVÁ, D. *Production proces optimalization by the means of reducing manipulation demands: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – TU of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 66 p. Thesis head: Schindlerová, V.

Master thesis is dealing with optimization of process, which is handling the material using forklift company in the automotive industry. The aim is to reduce the amount of unproductive trips generated due to the chaotic movement of forklifts in operation. As The solution to this problem, I have proposed a work system, which the forklift crew will follow in order to reduce non-productiove trips. Another solution is to observe whole issue in terms of changes in the number of working forklifts and in the resulting financial savings. Suggested system of work and changing the number of working forklifts were made using the simulation program.

Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení	8
1 Charakteristika řešené problematiky	9
2 Teoretický úvod do problematiky	10
2.1 Mezioperační doprava a manipulace s materiálem	10
2.2 Materiálový tok	10
2.2.1 Mezioperační úložné prostory	11
2.3 Manipulační technika	11
2.3.1 Základní pojmy	12
2.3.2 Vysokozdvížené vozíky	13
2.3.3 Metody ke zjištění náročnosti na manipulaci	14
2.4 Simulační program Witness	14
2.4.1 Princip počítačové simulace výrobních systémů	15
2.4.2 Hlavní sféry využití počítačové simulace	15
2.5 Výpočet statistických ukazatelů	16
3 Analýza současného stavu	18
3.1 Analýza a stanovení datové základny	19
3.1.1 Rozdělení manipulovaného materiálu	19
3.1.2 Manipulované objemy materiálů	20
3.1.3 Místa obsluhy a délka tras mezi nimi	21
3.1.4 Frekvence potřeb manipulace	22
3.2 Analýza stávajících kapacit manipulační techniky	23
3.2.1 Počet a typ manipulačních prostředků a zařízení	23
3.2.2 Stáří a rozbor využití techniky	24
3.2.3 Poruchovost a údržba	26
3.2.4 Způsob manipulace a operační časy	27
3.2.5 Rychlost pojezdu VZV	31
4 Simulace navrhovaných řešení	35
4.1 Vstupní data pro simulační model	35
4.2 Navrhovaná řešení	36
4.2.1 Nejdřívější obslužení požadavku	37
4.2.2 Počet obsluhujících VZV	39
4.3 Simulační model	39
5 Vyhodnocení simulačních experimentů, zhodnocení výsledků	40

5.1	Nejdřívější obslužení požadavku	40
5.2	Počet obsluhujících VZV	44
5.3	Zhodnocení výsledků	51
5.4	Implementace navrženého systému práce do provozu.....	54
5.4.1	Doba návratnosti investice.....	56
6	Zobecnění a zhodnocení navržených postupů	57
6.1	Zobecnění navržených postupů.....	57
6.1.1	Data z informačního systému podniku	57
6.1.2	Místa obsluhy a délka tras mezi nimi	58
6.1.3	Analýza stávající manipulační techniky	58
6.1.4	Simulace.....	59
6.2	Zhodnocení	60
7	Seznam použité literatury	62
8	Přehled použitých obrázků, tabulek a grafů.....	64
8.1	Seznam obrázků	64
8.2	Seznam grafů	64
8.3	Seznam tabulek	65
9	Seznam příloh	66

Seznam použitého značení

Seznam použitých indexů

Značka	Jednotka	Veličina
e_v	[%]	výběrová chyba průměru
K_r	[1]	koefficient rozpětí časové řady
n	[1]	počet měření
s	[s]	směrodatná odchylka
v	[%]	variační koefficient
\bar{X}	[s]	průměrná hodnota časové řady
X_i	[s]	naměřená hodnota
X_{\max}	[s]	maximální hodnota časové řady
X_{\min}	[s]	minimální hodnota časové řady

Seznam použitých zkratk odborných termínů

Zkratka	Znění zkratky	Význam
CNG	Compressed Natural Gas	stlačený zemní plyn
ID	Identification	identifikace
IS	Information System	informační systém
PC	Personal Computer	osobní počítač
VMT	Vehicle Mount Terminals	mobilní terminál pro VZV
VZV	Vysokozdvíhový vozík	manipulační vozík

1 Charakteristika řešené problematiky

Optimalizace výrobního procesu prostřednictvím snížení manipulační náročnosti je prováděna pro podnik zabývající se výrobou dílů pro automobilový průmysl. Pojem manipulace ve výrobě zahrnuje rozmanité množství úkonů, které se vztahují k přemístění materiálu z jednoho místa na druhé. Tyto úkony mohou být prováděny pracovníky ručně nebo pomocí manipulační techniky. Při optimalizaci manipulační náročnosti v podniku se budu zaměřovat na manipulační činnosti prováděné prostřednictvím manipulační techniky a to zejména vysokozdvizným vozíkům.

Během doby své působnosti podniku na trhu si pracovníci s vysokozdviznými vozíky vytvořili takové zkušenosti, že se po výrobní hale pohybovali téměř intuitivně. Nebyl definovaný žádný systém práce, podle kterého by se řídili. Problém nastal v okamžiku, kdy byl změněn výrobní plán. Doposud naučené zájezdové trasy a doba, kdy má být materiál zmanipulován byly reorganizovány. Tato změna způsobila, že se pracovníci s vysokozdviznými vozíky začali chaoticky pohybovat po výrobní hale a vzniklo tak mnoho neproduktivních jízd. Obsluha vysokozdvizných vozíků se dostala opět na začátek, kdy by si museli vytvořit své zkušenosti s novým výrobním plánem. Tento způsob je však zdlouhavý a neefektivní, provázený velkými časovými ztrátami, kterým chce podnik zabránit, jelikož každá časová prodleva je zpravidla doprovázena finanční ztrátou. Řešení by navíc v prvním období přinášelo velký nárůst neproduktivních jízd až do doby, kdy obsluha správně odhadne okamžik vzniku požadavku a omezila tak zbytečné cesty k místu předpokládané manipulace. Tento jev se často vyskytoval i v dřívějším systému před změnou výrobního plánu.

Řešením je definování systému práce, podle kterého se budou pracovníci řídit. Dojde tak k úbytku neproduktivních jízd a přehlednějšímu pohybu vysokozdvizných vozíků po výrobní hale za mnohem kratší dobu než by tomu bylo u první možnosti řešení.

Nástrojem pro optimalizaci manipulační náročnosti pro mě bude simulační program Witness, ve kterém si ověřím navržené varianty řešení. Výsledky variant bude možné následně porovnat se současným stavem a vyhodnotit, která z variant je pro podnik nejprínosnější.

V celé práci používám výraz „automobilový průmysl“ z důvodu, že si podnik, pro který se zadaný problém řešil, nepřál, aby bylo uveřejněno, v jaké sféře automobilového průmyslu podniká.

2 Teoretický úvod do problematiky

Potřeba přemísťovat materiál je vyvolána ve všech typech výroby. Pohyb materiálu – materiálový tok – závisí především na dispozičním uspořádání výroby, na jejím charakteru (kusová, sériová, hromadná), na její složitosti, stupni její organizace, druhu výrobku a dalších parametrech. Mezioperační operace jako kterákoliv jiná operace s materiálem nezvyšuje hodnotu materiálu, znamená naopak zvyšování provozních nákladů. [5]

2.1 Mezioperační doprava a manipulace s materiálem

Mezioperační doprava a manipulace s materiálem představuje poměrně širokou oblast, která zahrnuje veškerý přesun surovin, zásob ve výrobě a pohyb hotových výrobků v rámci výrobního podniku včetně vstupního a výstupního skladu. Hlavním cílem mezioperační dopravy a s tím související nutné manipulace s materiálem je zajištění co nejplynulejšího materiálového toku a dosažení souvislého průběhu výrobního procesu. Mezioperační doprava se uskutečňuje mezi jednotlivými technologickými a kontrolními pracovišti a mezioperačními skladovými místy. Dopravní proces končí ve výstupní kontrole a expedici, kde je výstup celého výrobního systému.

2.2 Materiálový tok

Materiálový tok lze charakterizovat jako organizovaný pohyb materiálu ve výrobním procesu v požadované posloupnosti, která je dána technologickým postupem. Je to souhrn operací, které spočívají převážně v dopravě materiálu, jeho skladování, balení a vážení, v technologických manipulacích a pracích souvisejících bezprostředně s výrobním procesem. Zároveň také zahrnuje všechny druhy pomocných materiálů, které jsou pro realizaci výrobního procesu požadovány. [4]

Rozlišuje se manipulace mezioperační a technologická. Mezioperační manipulace nastává při pohybu materiálu mezi jednotlivými výrobními a nevýrobními operacemi. Technologická manipulace je součástí technologické operace, s jejímž procesem je přímo spojena a zajišťuje vhodnou orientaci dílů zpracovávaných na stroji.

Mezioperační doprava a manipulace s materiálem je vždy spojena s určitými náklady, které tvoří poměrně velkou část z celkových nákladů vynaložených na zpracování finálního výrobku. Z uvedeného důvodu je proto snaha materiálový tok řídit a minimalizovat náklady

vynakládané na manipulaci s materiálem všude tam, kde je to možné a účelné. Jedná se zejména o zkrácení přepravních vzdáleností, minimalizace počtu úzkých míst a minimalizace stavu zásob.

2.2.1 Mezioperační úložné prostory

Mezi jednotlivými technologickými pracovišti jsou obvykle umístěny mezioperační úložné prostory, které slouží ke krátkodobému skladování rozpracované výroby, vytváří zásobu připravené práce pro následující operaci včetně úložných prostorů pro skladování a přípravu výrobních pomůcek a nástrojů. Je zřejmé, že zásobování technologických pracovišť materiálem a výrobními prostředky v reálném čase, klade vysoké nároky na frekvenci manipulačního prostředku. Naproti tomu mají mezioperační úložné prostory typicky skladový charakter, kdy nároky na kapacitu nejsou vyvolány okamžitou naléhavou potřebou technologických pracovišť.

2.3 Manipulační technika

Manipulační a skladovací systémy řeší základní problém - dopravit správný výrobek ve správný čas na správné místo s optimálními náklady. Vysoká výkonnost při minimálních nákladech je znamením úspěchu celé firmy. Optimalizací manipulace s materiálem lze očekávat lepší ekonomické ukazatele.

Pro stanovení datové základny a možnosti zpracovat analýzu potřeb nasazení manipulačních prostředků je nutné znát:

- rozdělení manipulovaného materiálu či skupin,
- manipulované objemy materiálu a jeho dávku,
- manipulační místa,
- délku tras mezi jednotlivými manipulačními místy,
- údaje o materiálu,
- frekvenci potřeb manipulace,
- časová dostupnost a investice.

Dále je nutné provést analýzu stávajících kapacit manipulační techniky ve struktuře:

- počet a typ manipulačních prostředků a zařízení,
- stáří a současné nasazení,
- poruchovost, údržbu a opravy,
- způsob manipulace a operační časy,
- rychlost pojezdu a dalších pohybů manipulačních prostředků.

Na základě těchto vstupů je možné tyto procesy optimalizovat včetně nastavení nutného počtu manipulačních prostředků a organizace jejich práce. K bližšímu specifikování potřeby vstupních dat je nutné seznámit se s konkrétními provozními podmínkami a složitostí procesů. Zjištěná data se posuzují vždy v souvislosti se všemi oblastmi manipulace a znalostí manipulačních technologií a organizace práce.

2.3.1 Základní pojmy

Z hlediska manipulace s materiálem se nakládka, překládka a vykládka materiálu označují společným pojmem ložné operace.

Nakládka je přemístění materiálu z místa uložení na dopravní prostředek nebo dopravní zařízení do vzdálenosti 3 metrů.

Překládka je bezprostřední přeložení z dopravního prostředku na druhý.

Vykládka je přemístění materiálu z dopravního prostředku na místo uložení do vzdálenosti 3 metrů.

Pokud je vzdálenost větší než 3 metry, jedná se o dopravně-manipulační operace.

Skladovací operace jsou jednotlivé úkony na zabezpečení organizovaného ukládání, zakládání, vybírání a přípravu materiálu v místě na tom určeném a zpravidla i upraveném.

Manipulační místo je plocha, na které se provádějí ložné operace. Rozměry a povrchová úprava plochy musí odpovídat technickým parametrům použitého mechanizačního prostředku.

Mechanizační prostředky jsou technické prostředky manipulace s materiálem určené pro provádění ložných operací.

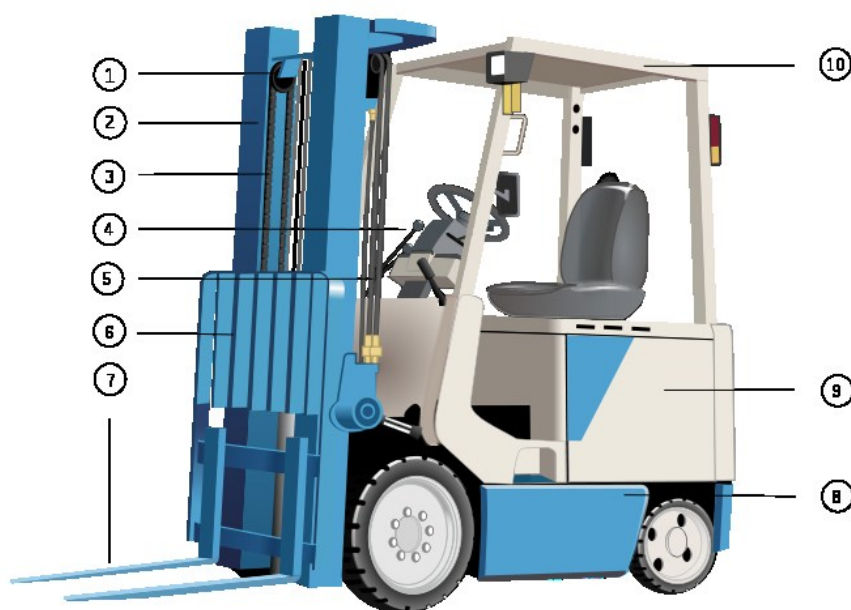
Technické prostředky manipulace s materiálem jsou normalizovány ČSN.

2.3.2 Vysokozdvížné vozíky

Vysokozdvížný vozík (slangově zvaný ještěrka, nebo zdvižka) je mobilní stroj používaný převážně pro vertikální manipulaci s materiálem. Příbuzné manipulační prostředky jsou ruční nebo elektricky poháněné nízkozdvížné vozíky nebo zařízení pro překládání kontejnerů. Vysokozdvížný vozík je nejčastěji koncipován jako kolový. Nejnápadnější a nejdůležitější částí je u vysokozdvížných vozíků zdvihací jednotka složená ze zdvihacího rámu a nosiče vidlí. Nosič vidlí nese dva ocelové trny (ližiny) s nastavitelnou roztečí. Vidle (paletové vidle) jsou nejčastější výbavou, protože nejčastěji manipulovaným břemenem jsou různé typy palet.

Vysokozdvížný vozík (Obr. 1) je ovládán řidičem, který na vozíku jede. Pohon vozíku je zprostředkován prostřednictvím spalovacího nebo elektrického motoru. Spalovací motory mohou být jak benzínové, dieselové, tak na pohonný plyn propan nebo CNG, který se však využívá k pohonu spíše výjimečně. Elektricky nebo plynem poháněné vozíky se smějí používat i v uzavřených prostorách. Elektrický pohon je výhodný pro nulové emise. Potřebuje akumulátor, jehož vysoká hmotnost se využívá jako protiváha k nákladu. Využívají se jak stejnosměrné motory, tak asynchronní s měničem. Elektrický motor může fungovat také jako motorová (elektrodynamická) brzda. Přenos síly od motoru na sklápění rámu, zdvihání břemene a někdy i řízení je hydraulický. Vysokozdvížné vozíky se otáčejí s velmi malým poloměrem. Zpravidla je prostor pro otočení o málo větší než délka vozíku. Řídicí náprava je vždy zadní. Existují i tříkolové vozíky. U těch je samostatné kolo řídicí a je vzadu. Nosnost vozíků je od stovek kilogramů až po několik tun. Výška zdvihu je až do 6 metrů. [8]

- 1 – kladka řetězu
- 2 – nosník
- 3 – nosný řetěz
- 4 – ovládací páka zdvihu
- 5 – hydraulický systém
- 6 – nosná plošina
- 7 – vidle
- 8 – podvozek
- 9 – motor a protiváha
- 10 – kryt kabiny



Obr. 1 Popis vysokozdvížného vozíku [8]

2.3.3 Metody ke zjištění náročnosti na manipulaci

Aby bylo možné určit náročnost na manipulaci materiálu vysokozdvížnými vozíky (dále jen VZV), bylo nutné stanovit si několik metod na její zjištění. Při navrhování následujících metod jsem vycházela z parametrů charakterizujících manipulaci materiálu VZV. Zvolené metody jsou popsány níže:

Vlastní pozorování systému a měření časů

Tato metoda vychází z vlastního měření v provozu. Bez časových náměrů by se jen stěží určovaly orientační časy ložných operací a časy dojezdů vozíků k manipulačním místům, proto tuto metodu považuji za stěžejní.

Určení matice vzdáleností

Další významnou metodou je určení matice vzdáleností mezi jednotlivými manipulačními místy. Vzdálenosti je možné odečíst z layoutu výrobní haly. Nejprve je však nutné provést identifikaci míst, kde dochází k manipulaci materiálu a označit je jako manipulační místa.

Identifikace vozového parku

Jako poslední metodu jsem si zvolila identifikaci vozového parku, kdy se zaměřím na druhy používaných VZV ve výrobě a také na náklady na jejich provoz, jelikož provozní náklady různých druhů VZV mohou být značně odlišné.

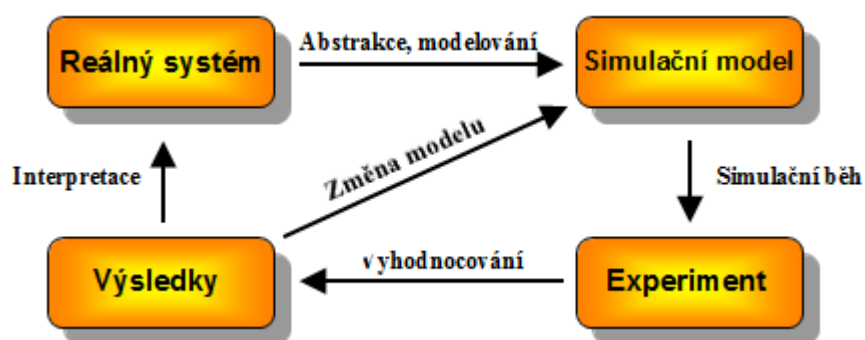
2.4 Simulační program Witness

WITNESS je software pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů a procesů britské společnosti Lanner Group Ltd. Bývá také charakterizován jako předvídající technologie pro podporu rozhodování. Z pohledu uživatele se jedná o objektově orientované programovací prostředí, které nabízí široký výběr funkčních prvků a vlastností nejen pro stavbu simulačních modelů.

WITNESS může být použit k analýze jakéhokoliv procesu, v němž je zapotřebí sledovat dopad navržených změn a podloženě hodnotit možnosti řešení. Kromě snadného vytváření modelů kopírujících realitu, je velmi důležitá i možnost interaktivní práce s modelem. Umožňuje provádět analýzy typu "what-if", tj. analýzu, která využívá metodiky porovnávající dopady jednotlivých návrhů řešení navzájem. [6]

2.4.1 Princip počítačové simulace výrobních systémů

Počítačová simulace výrobního systému je etapa dynamického zkoumání výrobního systému. Jejím principem je experimentování s počítačovým modelem, který je pokud možno přesným obrazem stochasticky se chovajícího výrobního systému. Na simulačním modelu se simulují stavy systému (např. transport součástí) v závislosti na čase. Jejich změna přitom nastává diskrétně v časových okamžicích, které jsou reprezentovány diskrétní událostí (např. příchod zakázky). Cílem experimentování je vyhledání takových hodnot výstupních veličin modelu, které vyhovují předem stanoveným požadavkům (cílům simulační studie). Vstupní hodnoty tohoto řešení jsou potom použitelné i pro reálný systém (Obr. 2). [7]



Obr. 2 Princip simulace [9]

2.4.2 Hlavní sféry využití počítačové simulace

Simulační program Witness lze využít v mnoha odvětvích lidské činnosti. Mezi nejrozšířenější z nich patří:

- logistická analýza (využití zkoumaných objektů),
- organizace manipulace s materiálem,
- optimalizace širokého spektra výrobních a logistických procesů,
- analýza výrobních nákladů,
- analýza využití lidských zdrojů,
- modelování distribučních řetězců,
- podpora v nabídkových řízeních,
- reengineering procesů,
- plánování „pro všechny případy“,
- prediktivní analýza podnikových dat.

2.5 Výpočet statistických ukazatelů

Statistické vyhodnocení slouží k verifikaci výsledku, který je bezpochyby zatížen chybou měření a chybou provedení operace. Koeficient rozpětí časové řady, směrodatná odchylka a variační koeficient postupně slouží k vyjádření výběrové chyby průměru, která je směrodatná k verifikaci výsledku měření a vyjádřeného aritmetického průměru. [4]

S ohledem na charakter práce je třeba určit přípustnou chybu měření a toto opakovat do chvíle, kdy hodnoty pro každý úkon splňují podmínku, že vypočtená výběrová chyba průměru je nejvýše rovna přípustné chybě. Ta se může volit pro ruční práce v intervalu 2-5 %, pro strojní operace by měla být chyba volena do 2 %. Volba přípustné chyby ovlivňuje počet nutných měření. (Uvedené hodnoty jsou pouze doporučené a vyplývají z praktických zkušeností.) Níže jsou uvedeny vzorce pro výpočet statistických ukazatelů:

Koeficient rozpětí časové řady

Vyjádřuje poměr nejvyšší hodnoty k nejnižší. Čím více se blíží k hodnotě 1, tím spíše můžeme předpokládat věrohodnost výsledku, že výsledná průměrná hodnota se blíží skutečnosti.

$$K_r = \frac{X_{\max}}{X_{\min}} \quad [1] \quad (2.1)$$

X_{\max} ... maximální hodnota časové řady [s]

X_{\min} ... minimální hodnota časové řady [s]

Průměrná hodnota časové řady

Vypočtením získáme průměr z naměřených hodnot.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad [s] \quad (2.2)$$

X_i ... naměřená hodnota [s]

n ... počet měření [1]

Směrodatná odchylka

Nejvýstižnější ukazatel kolísavosti časové řady v absolutním podání.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad [s] \quad (2.3)$$

Variační koeficient

Nejvýstižnější ukazatel kolísavosti časové řady v relativním podání. Vyjadřuje se nejčastěji jako bezrozměrný koeficient, případně v procentech.

$$v = \frac{s}{\bar{X}} \quad [\%] \quad (2.4)$$

Výběrová chyba průměru

Jde o relativní rozdíl mezi průměrnou hodnotou vypočtenou z časové řady a skutečnou hodnotou. Zpravidla se vyjadřuje v procentech.

$$e_v = \frac{v}{n-1} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (2.5)$$

3 Analýza současného stavu

Podnik působící v oblasti automobilového průmyslu je na trhu už několik let a začínal od úplného začátku, kdy měl jen několik zaměstnanců. Postupně se rozrůstal až do současného stavu, představující 125 pracovníků. Nyní je možné podnik zařadit mezi středně velké podniky.

Abych mohla správně popsat současný stav, musím se nejdříve zmínit o stavu předchozím, který do nedávna v podniku byl.

Jak bylo zmíněno výše, podnik začínal od úplného začátku. Tento přirozený vývoj, až do současného stavu sebou přinášel i vznik různých psaných i nepsaných pravidel, která se v podniku běžně používala. Jedno z nepsaných pravidel (nebo je také možné hovořit o instinktivním jednání) představoval pohyb manipulační techniky ve výrobním procesu. Pracovníci obsluhující VZV si postupně budovali zkušenosti týkající se manipulace s materiálem. Dokázali odhadnout, kdy a jaký materiál daného pracoviště má být manipulován. Podnik tak nepocíťoval potřebu definovat nějaký systém práce, podle kterého by se manipulující pracovníci řídili. Avšak je nutné podotknout, že tento způsob práce nebyl zcela vyhovující. Docházelo k tomu, že ačkoliv obsluha VZV podle svých zkušeností dojela na místo, kde měl být materiál manipulován, nebyl tento materiál z nějakého důvodu ještě připraven. Vznikla tak navíc neproduktivní jízda či zbytečné zdržení manipulačního prostředku.

Klíčovým okamžikem, kdy podnik pocítil potřebu definovat systém práce manipulujícím pracovníkům, nastal s příchozí změnou výrobního plánu. Doposud naučené časové intervaly a zájezdové trasy těchto pracovníků byly reorganizovány. Obsluha VZV se začala po výrobní hale pohybovat chaoticky a vznikalo tak mnoho neproduktivních jízd, dostala se tak opět na začátek, kdy by si musela vytvářet nové zkušenosti s časovými intervaly a zájezdovými trasami. Tento postup by však byl příliš zdoluhavý vzhledem k současnému rozsahu výrobního procesu. Vznikaly by tak velké časové ztráty a spousta neproduktivních jízd, kterým chce podnik zabránit.

Při rozboru současného stavu budu vycházet z dat, které mě byly poskytnuty podnikem z jejich informačního systému. Data jsou v rozsahu jednoho měsíce.

3.1 Analýza a stanovení datové základny

Datová základna v tomto případě představuje soubor informací týkajících se materiálu. Je zde rozebíráno rozdělení manipulovaného materiálu, množství materiálu, s kterým je manipulováno a také obsahuje jak často je nutné s materiálem manipulovat. Důležitou částí této datové základny je identifikace míst obsluhy a určení délky tras mezi těmito místy. [3]

Z důvodu zachování anonymity podniku zde nebudu uvádět konkrétní výrobky, které podnik vyrábí. Pro jejich produkty budu v práci dále používat obecný výraz „výrobky automobilového průmyslu“.

3.1.1 Rozdělení manipulovaného materiálu

Největší vliv na manipulační metodu má materiál, který se má přemísťovat. Řešení každého problému manipulace s materiálem začíná proto vždy základní otázkou: co se má přemísťovat?

Zpravidla i při výrobě jediného druhu výrobku má zpracovaný materiál během výrobního procesu mnoho různých základních charakteristických znaků. Důvodem je to, že surovina, dříve než se stane hotovým výrobkem, často své vlastnosti a charakteristické znaky několikrát změní. Proto třídíme materiál z hlediska manipulačních schopností do různých materiálových skupin podle jeho stavu na:

- tuhé,
- kapalné,
- plynné.

Dále se dělí podle snadnosti přepravy i přípravy k přepravě na:

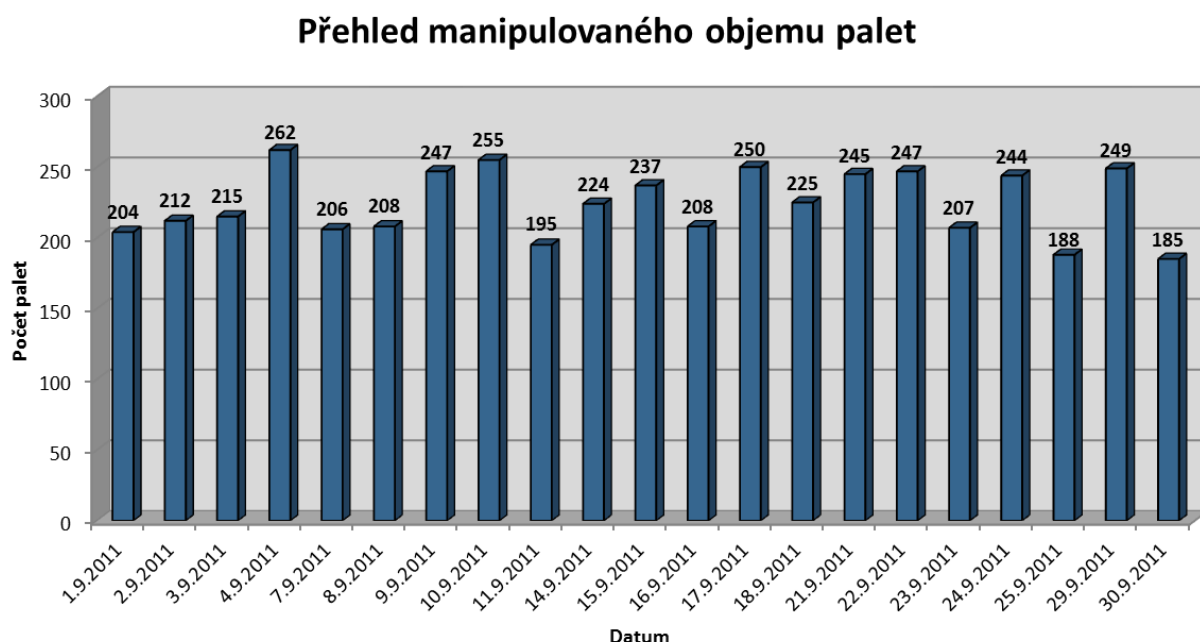
- jednotlivé kusy,
- manipulační jednotky (palety, kontejnery, obaly apod.),
- volně ložený materiál.

Ve výrobě řešeného podniku by bylo možné charakterizovat více skupin materiálů, budu se však zabývat pouze takovou skupinou materiálů, která je manipulována za pomoci VZV. Tato skupina materiálů v sobě zahrnuje tuhé materiály, které jsou přepravovány v manipulační jednotce, kterou představuje paleta. Informace o použitých paletách jsou uvedeny v kapitole 3.2.4 Způsob manipulace a operační časy.

3.1.2 Manipulované objemy materiálů

Materiál je v podniku převážen za pomoci VZV pouze po jedné paletě. Jedna cesta VZV tedy představuje převezení jen jedné palety na dané manipulační místo. Ve výrobě převážejí VZV celkem 281 druhů materiálů. Každý materiál je zpravidla jinak velký a tudíž se na jednu paletu dá umístit rozdílné množství. Z tohoto důvodu je možné brát jednu paletu za objem manipulovaného materiálu.

Následující Graf 1 uvádí celkový objem manipulovaných palet všemi VZV v jednotlivých dnech. Směnnost v tomto podniku je 24 hodin denně, proto jsou zde uváděny celé dny místo uvedení jednotlivých směn.



Graf 1 Přehled manipulovaného objemu palet

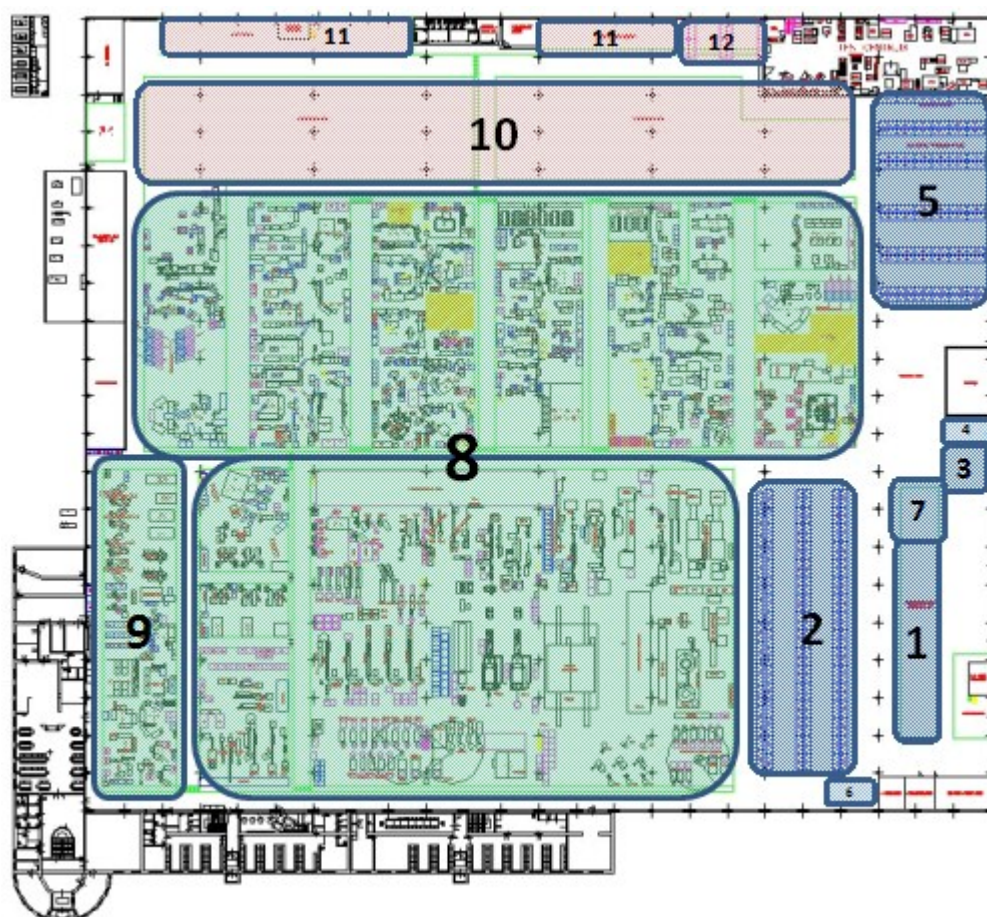
Z grafu je možné vyčíst, že minimální přepravované množství za jeden den odpovídalo 185 paletám. Naopak největší přepravené množství za den představuje 262 palet. Z pohledu průměrného množství je to 203 přepravených palet za den.

Na tomto uvedeném celkovém přepravovaném množství palet se podílí pět VZV, které podnik vlastní. Každá z těchto palet představuje jeden požadavek na manipulaci materiálu, který byl zapotřebí převést z místa nakládky do procesem daného místa vykládky.

3.1.3 Místa obsluhy a délka tras mezi nimi

Dalším prvkem datové základny je určení manipulačních míst, na kterých probíhají ložné operace. Tato místa jsem identifikovala ve spolupráci s výrobním ředitelem podniku a poté jsem provedla jejich kontrolu ve výrobní hale. Při určování těchto míst jsem vycházela z dat z informačního systému, kde jsou jednotlivá manipulační místa uvedena pod kódem. Celkem bylo identifikováno 46 manipulačních míst, která jsem zakreslila do layoutu výrobní haly.

Na Obr. 3 je uveden výrobní areál podniku s vyobrazením jednotlivých oblastí manipulací VZV. Každá oblast pod sebou skrývá určitý počet ze 46 identifikovaných manipulačních míst. Jednotlivá manipulační místa jsou zakresleny v příloze A.



Příjem

- 1 Příjmová plocha
- 2 Hlavní reg. sklad přijatého materiálu
- 3 Přebalování materiálu
- 4 Zpracování kanban karet pro vychystávání
- 5 Druhý příjmový reg. sklad – objemnější položky
- 6 Pracoviště třídění mat. na výzvu kontroly jakosti
- 7 Stanoviště vláčku pro rozvoz materiálu

Výroba

- 8 Výrobní část haly
- 9 Montáž

Expedice

- 10 Expediční skladová plocha
- 11 Vychystávací plochy pro odvoz
- 12 Expediční regálový sklad

Obr. 3 Layout výrobního areálu podniku

Identifikace manipulačních míst a jejich zakreslení do layoutu se pro mě stalo důležitým podkladem, ze kterého vycházím při určení matice vzdáleností mezi jednotlivými manipulačními místy. Měření vzdáleností jsem prováděla v grafickém softwaru AutoCad. Požadované vzdálenosti jsem získala zakreslením cest pohybů VZV z místa na místo manipulace do layoutu výrobního areálu. Naměřené vzdálenosti matice mezi manipulačními místy jsou uvedeny jako příloha B.

Z dat informačního systému poskytnutých podnikem, je nyní možné vypočítat, kolik činí produktivní jízdy. Hodnotu neproduktivních jízd bude možné odečíst ze simulačního modelu současného stavu.

3.1.4 Frekvence potřeb manipulace

Posledním prvkem rozboru datové základny je zjištění frekvence potřeb manipulace s materiálem. Pro zjištění těchto informací budu vycházet z dat podniku.

Cílem tohoto rozboru je přehled o maximálních, minimálních a průměrných hodnotách, ve kterých se požadavky na manipulaci vyskytují. Následující tabulka (Tab. 1) obsahuje zjištěné zmiňované časy frekvencí potřeb manipulace ve výrobě.

Tab. 1 Rozpětí časů frekvence potřeb manipulace

Maximum [h:mm:ss]	Průměr [h:mm:ss]	Minimum [h:mm:ss]
1:11:11	0:09:06	0:00:00

Z tabulky lze vyčíst, že nejdelší rozpětí mezi jednotlivými potřebami na manipulaci představuje časový úsek trvající přes hodinu, kdežto nejkratší rozpětí činí 0 sekund a to proto, že potřeby vznikly na více manipulačních místech najednou. Uvedená průměrná hodnota představuje celkový průměr ze všech časových úseků mezi jednotlivými potřebami manipulací a činí necelých 10 minut.

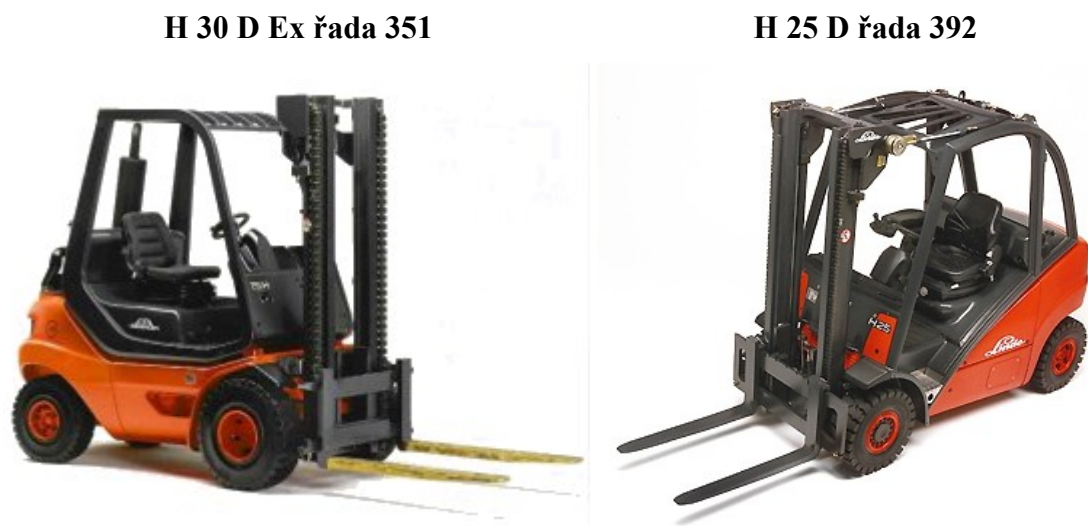
Po provedení analýzy a stanovení datové základny je dále nutné vykonat analýzu stávajících kapacit manipulační techniky. Tato analýza bude provedena v následující kapitole.

3.2 Analýza stávajících kapacit manipulační techniky

Tato analýza představuje potřebné údaje o používané manipulační technice (VZV) v podniku, na základě kterých budu následně tvořit simulační model v programu Witness.

3.2.1 Počet a typ manipulačních prostředků a zařízení

Podnik pro manipulaci s materiálem používá v současnosti 5 čelních VZV od výrobce Linde. Pohon těchto vozíků zprostředkovávají spalovací motory na naftu. Níže (Obr. 4) jsou zobrazeny dva typy používaných VZV. Další informace o těchto vozících jsou uvedeny v přílohách C a D.



Obr. 4 Typy používaných VZV v podniku [10, 11]

Vozík typu H 30 D Ex řady 351 je v podniku zastoupen třemi kusy, zastoupení druhého typu vozíku H 25 D řady 392 představuje dva kusy.

Naftové vozíky mají na rozdíl od elektrických tu výhodu, že mohou být používány téměř pořád, na rozdíl od elektrických, které jsou závislé na směnnosti, kdy se musí vymezit čas na dobití baterie. Mezi další výhody patří stálost výkonu vozíku během pracovní směny nebo odpadající nutnost budování nabíjecího centra. Nevýhodou je však větší hlučnost a nešetrnost k životnímu prostředí.

3.2.2 Stáří a rozbor využití techniky

V následující tabulce (Tab. 2) jsou uvedeny typy vozíků z předchozí kapitoly s jejich rokem výroby. V současné době podnik neuvažuje o obnově své flotily VZV.

Tab. 2 Rok výroby používaných VZV v podniku

Typ vozíku	Číslo vozíku	Rok výroby
H 30 D Ex řada 351	1	2003
	2	2005
	3	2006
H 25 D řada 392	1	2003
	2	2005

Aby bylo možné měřit plnění zadaného cíle, musí být znám současný stav vzdáleností za sledované období připadající na produktivní a neproduktivní jízdy. Tento přehled je uveden v Tab. 3 a vychází z informací, které mě podnik poskytl.

Tab. 3 Ujeté vzdálenosti současného stavu

Rozpis vzdáleností	Současný stav [m]
Produktivní jízdy	303 726
Neproduktivní jízdy	420 902
Celková ujetá vzdálenost	724 628

Z tabulky je zřejmé, že více než polovinu celkové ujeté vzdálenosti při plnění požadavků tvoří neproduktivní jízdy, kdy se VZV přemísťují bez nákladu a míří k místu nakládky, aby obsloužili další vzniklý požadavek na manipulaci. Uvedená celková vzdálenost připadá na všechny používané VZV, které slouží k plnění požadavků na manipulaci materiálu.

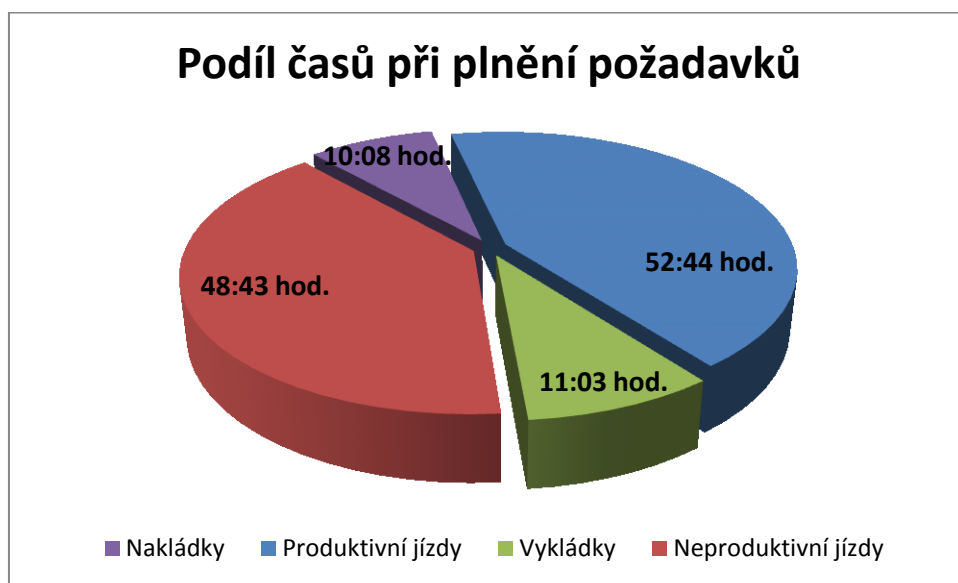
Cílem této práce je snížení uvedené celkové ujeté vzdálenosti a to prostřednictvím snížení neproduktivních jízd. Ze strany produktivních jízd žádnou změnu nelze předpokládat, protože řešení bude stavěno na datech z tohoto sledovaného období. Počet a skladba požadavků za stanovené období zůstávají stejné, proto skupina obsluhujících VZV z navrhnutého řešení musí vykazat totožnou ujetou vzdálenost jako v současném stavu. Stejně jako místa nakládek a vykládek zůstávají neměnná, tak i vzdálenosti mezi nimi zůstávají pevně dány.

Důležitou informací týkající se samotných VZV jsou náklady na motohodinu jejich práce. V Tab. 4 je uveden přehled týkající se typu paliva, spotřeby a celkových nákladů na jednu motohodinu (Mth).

Tab. 4 Náklady na motohodinu [12]

Palivo	Spotřeba	Kč/jednotka	Náklady/Mth
Diesel	2,1 l/Mth	36 Kč	75,6 Kč

Další částí rozboru je podíl časů vykonávaných činností při plnění požadavků na manipulaci materiálu. Není zde zahrnutý celkový čas představující celé směny, ale je zde uveden jen čas práce. Znázornění podílů časů při plnění požadavků je uvedeno v Grafu 2.



Graf 2 Podíl časů při plnění požadavků

Následující tabulka (Tab. 5) představuje přehled motohodin uvedené v grafu a jejich přepočet na náklady. Celkem za sledované období o délce jednoho měsíce spotřebuje skupina 5 VZV při práci palivo za 9 271 Kč.

Tab. 5 Přehled Mth a jejich přepočet na náklady

Rozpis časů	Počet Mth [hod.]	Náklady na Mth [Kč]
Produktivní jízdy	52:44	3 987
Neproduktivní jízdy	48:43	3 683
Nakládky	10:08	766
Vykládky	11:03	835
Čas celkem	122:38	9 271

3.2.3 Poruchovost a údržba

Pod tímto pojmem jsou zahrnuty běžné, střední a generální opravy a údržba základních prostředků a předmětů postupné spotřeby, se kterými se podnik běžně setkává.

Běžné opravy jsou takové, které lze provést v krátké době tak, že zpravidla není narušen provoz VZV a při nichž se opravují nebo vyměňují jen jednotlivé součásti zařízení, např. oprava pneumatik poškozených při jízdě (nikoliv výměna pneumatik opotřebovaných, což je věcí údržby). Běžnou opravu lze zpravidla vykonat přímo na pracovišti nebo v pomocné dílně. [1]

Střední opravy jsou takové, kdy je nutno opravit, popřípadě vyměnit konstrukční celky, z nichž se zařízení skládá. Opravy se týkají motorů, převodovek, náprav, částí karosérie atd. Tyto opravy se konají v odborných dílnách, kam musí být VZV dopraven. Z toho vyplývá určité přerušení provozu zařízení. [2]

Při generální opravě je prováděna úplná demontáž a současně kontrola stavu dílů a komponentů VZV. Při následné montáži jsou všechny opotřebované a poškozené díly nahrazeny novými součástkami, je zde zahrnuta i výměna motoru. Provádí se podle počtu ujetých kilometrů.

Při navrhování modelu současného stavu nebudu uvažovat generální opravu, jelikož VZV absolvují zpravidla jen jednu generální opravu za svou životnost. V následující tabulce (Tab. 6) jsou uvedeny orientační časy jednotlivých úkonů a jejich četnost výskytu.

Tab. 6 Úkony s orientačními časy a četnostmi výskytu

Úkon	Druh	Četnost výskytu	Čas [min]
Běžné opravy	opravy	1x za 1÷2 měsíce	10÷60
Střední opravy	opravy	1x za 3÷6 měsíců	120÷360
Doplnění pohonných hmot	údržba	dle potřeby na konci směny	neuvažuje se

Obsluha na konci každé směny, než zajede do depa, provede kontrolu stavu pohonné hmoty a v případě potřeby ji doplní na čerpací stanici. Tato činnost zpravidla probíhá po skončení pracovní směny, proto ji nebudu do modelu zahrnovat.

3.2.4 Způsob manipulace a operační časy

Manipulovaný materiál je v mnohých odvětvích průmyslu odlišný, z toho důvodu se používají různé manipulační prostředky pro uložení a přepravu materiálu. Od těchto prostředků se odvíjí i zařízení VZV. Klasickým vybavením většiny VZV jsou vidle pro přepravu různých typů palet. Kromě vidlí existují různá přídatná zařízení určená pro manipulaci s hranatými břemeny za pomoci svěracích čelistí, manipulace s válcovými břemeny a sudy, nosné trny pro přepravu různých sviteků či trubek.

V podniku jsou VZV vybaveny pouze klasickými vidlemi. Materiál připravený k manipulaci je uložen ve dvou typech palet. Prvním typem jsou kovové ohradové palety (Obr. 5), které je možno naplněné stohovat i v několika vrstvách. V těchto paletách jsou přepravovány drobné výrobky. Druhým používaným typem jsou klasické dřevěné europalety (Obr. 6), které slouží pro přepravu větších výrobků nebo hotové výroby. Jednotlivé parametry těchto palet jsou uvedeny v příloze E a F.



Obr. 5 Kovová ohradová paleta [13]



Obr. 6 Europaleta [14, 15]

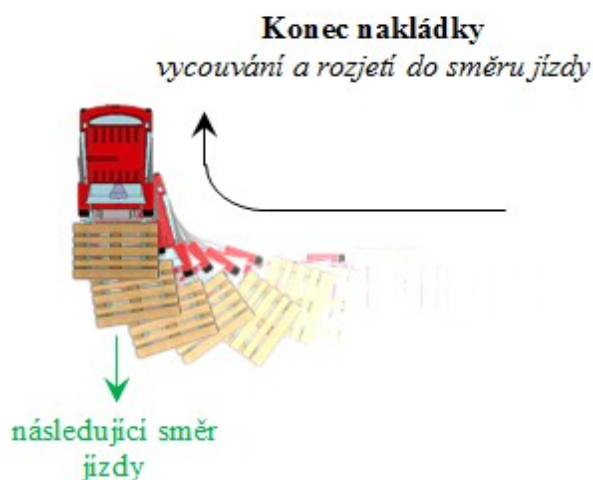
Manipulaci s paletami u pracovišť nebo skladů za pomoci VZV nazýváme ložné operace. Tyto operace zahrnují nakládky, překládky a vykládky materiálu umístěné na paletách. Překládky je možné rozdělit do nakládek a vykládek, dochází zde ke stejným úkonům VZV. Časy těchto operací bylo potřeba změřit přímo v podniku, aby bylo možné vytvořit co nejpřesnější simulační model.

Pro správné změření časů jsem si musela nejprve definovat, v jakém okamžiku začíná daná operace a čím je ukončena. Jako začátek nakládky jsem si stanovila okamžik, kdy VZV zpomalí a začne měnit směr pohybu, aby mohl paletu naložit na vidle (Obr. 7). Následně

provede nakládku palety a vycouvá do polohy pro pokračování jízdy. Za ukončení jsem považovala rozjetí do směru dalšího pohybu s naloženou paletou (Obr. 8).

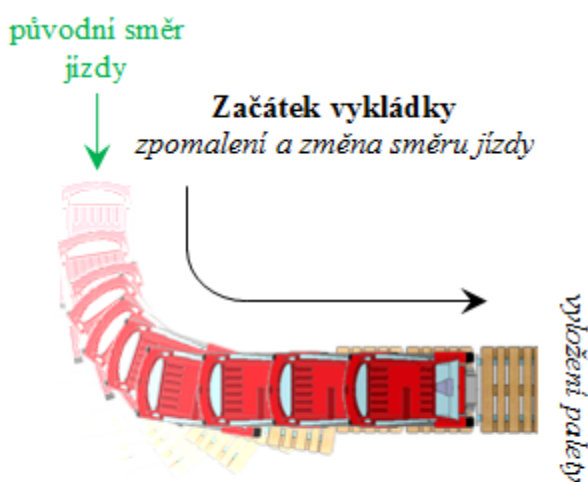


Obr. 7 Začátek nakládky

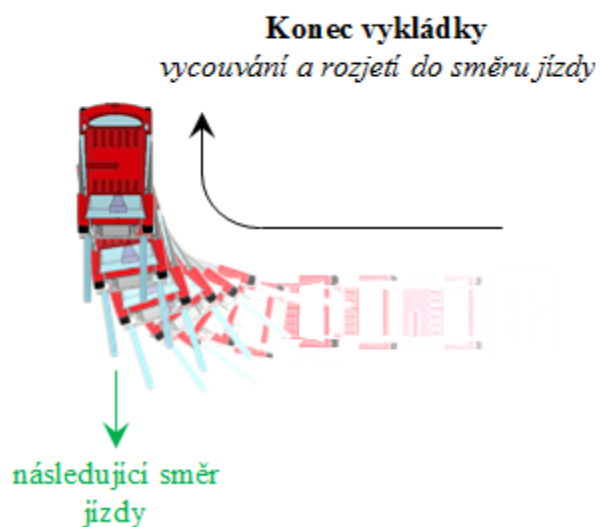


Obr. 8 Konec nakládky

Vykládka palety probíhala obdobně jako její nakládka. Za začátek vykládky jsem si stanovila zpomalení VZV a jeho změnu směru pohybu k manipulačnímu místu, kde má být daná paleta umístěna (Obr. 9). V okamžiku, kdy se VZV přemístí na manipulační místo, provede vyložení palety. Po vyložení palety vycouvá do polohy pro pokračování své jízdy. Ukončení vykládky pro mě představoval okamžik, kdy se VZV rozjel do směru dalšího pohybu k místu následující manipulační operace (Obr. 10).



Obr. 9 Začátek vykládky



Obr. 10 Konec vykládky

V následující tabulce (Tab. 7) jsou uvedené naměřené operační časy. V podniku jsem provedla celkem 30 náměrů pro každou z měřených operací. Hodnoty jsou rozděleny do tří sloupců. První sloupec představuje číslo měření dané operace. V druhém sloupci jsou uvedeny náměry časů nakládek a třetí sloupec obsahuje naměřené časy vykládek. Operační časy jsem zaokrouhlovala na celé sekundy.

Tab. 7 Naměřené operační časy VZV

Č. měření	Nakládka [s]	Vykládka [s]	Č. měření	Nakládka [s]	Vykládka [s]
1.	8	5	16.	3	4
2.	8	4	17.	13	9
3.	6	14	18.	17	7
4.	10	19	19.	5	5
5.	9	11	20.	8	5
6.	6	4	21.	7	9
7.	6	8	22.	6	6
8.	9	8	23.	12	8
9.	8	7	24.	6	10
10.	7	12	25.	9	16
11.	5	6	26.	7	8
12.	7	8	27.	6	14
13.	7	9	28.	6	11
14.	8	5	29.	7	8
15.	8	6	30.	6	6

Pro rozhodnutí, zda je naměřený počet operačních časů dostatečný slouží statistické vyhodnocení a to konkrétně chyba průměru e_v , která by neměla být vyšší než 2 %. Statistické vyhodnocení slouží také pro určení průměrné doby trvání dané operace a dalších statistických ukazatelů, které jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8 Statistické ukazatele operačních časů

Operace	MAX [s]	MIN [s]	\bar{X} [s]	n [1]	s [s]	K_r [1]	v [%]	e_v [%]
Nakládka	17	3	7,7	30	2,7	5,7	0,35	1,21
Vykládka	19	4	8,4	30	3,7	4,8	0,44	1,52

Výpočtem se ověřilo, že počet měření o rozsahu 30-ti náměrů je dostatečný a lze jej považovat za použitelný vzorek.

Výpočty

Výpočet statistických ukazatelů pro nakládku, dosazeno do vzorců 2.1 – 2.5. Výsledky jsou přehledně uvedeny v Tab. 8.

Průměrná hodnota časové řady

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{8+8+6+10+9+6+6+9+\dots+12+6+9+7+6+6+7+6}{30} = \underline{\underline{7,7 \text{ s}}}$$

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(8-7,7)^2 + (8-7,7)^2 + \dots + (7-7,7)^2 + (6-7,7)^2}{30-1}} = \underline{\underline{2,7 \text{ s}}}$$

Koeficient rozpětí časové řady

$$K_r = \frac{X_{\max}}{X_{\min}} = \frac{17}{3} = \underline{\underline{5,7}}$$

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{2,7}{7,7} = \underline{\underline{0,35 \%}}$$

Výběrová chyba průměru

$$e_v = \frac{v}{n-1} \cdot 100\% = \frac{0,35}{30-1} \cdot 100\% = \underline{\underline{1,21 \%}}$$

Výpočet statistických ukazatelů pro vykládku, dosazeno do vzorců 2.1 – 2.5. Výsledky jsou přehledně uvedeny v Tab. 8.

Průměrná hodnota časové řady

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{5+4+14+19+11+4+8+8+\dots+8+10+16+8+14+11+8+6}{30} = \underline{\underline{8,4 \text{ s}}}$$

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(5-8,4)^2 + (4-8,4)^2 + \dots + (8-8,4)^2 + (6-8,4)^2}{30-1}} = \underline{\underline{3,7 \text{ s}}}$$

Koeficient rozpětí časové řady

$$K_r = \frac{X_{\max}}{X_{\min}} = \frac{19}{4} = \underline{\underline{4,8}}$$

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{3,7}{8,4} = \underline{\underline{0,44 \%}}$$

Výběrová chyba průměru

$$e_v = \frac{v}{n-1} \cdot 100\% = \frac{0,44}{30-1} \cdot 100\% = \underline{\underline{1,52 \%}}$$

3.2.5 Rychlost pojezdu VZV

U dieselových VZV se rychlost pojezdu bez nákladu uvádí kolem 20 km/h, s nákladem je tato rychlost o něco nižší. Maximální rychlost pojezdu však nelze využívat v každé situaci. Existují omezující pravidla pro maximální rychlost a to pro vnější vnitrozávodovou komunikaci a pro pohyb VZV uvnitř haly.

Jako horní hranice rychlosti bezpečného pohybu VZV na vnitrozávodové komunikaci se uvádí 20 km/h, je tedy možné využívat maximální rychlost pojezdu VZV, nesmí však překračovat tuto stanovenou maximální rychlost. V uzavřených prostorách jako jsou haly je maximální povolená rychlost snižena na 10 km/h.

V této práci se zabývám pohybem VZV ve výrobní hale, proto jsem provedla pouze měření rychlostí pohybu po hale. Měření jsem prováděla na základě změřené vzdálenosti určité cesty na různém místě v hale a následně jsem změřila čas, za který VZV urazil tuto vzdálenost. Celkem jsem provedla 16 měření, naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 9.

Poslední sloupec v Tab. 9 představuje stav VZV v okamžiku měření. Plným stavem je myšlen VZV, který právě přepravuje paletu na určité manipulační místo. Prázdný vozík, představuje takový vozík, který v okamžiku měření nepřeváží žádnou paletu, takový pohyb VZV je považován za neproduktivní jízdu.

Tab. 9 Naměřené rychlosti pojezdu VZV

Č. měření	s [m]	t [s]	v [m/s]	v [km/h]	Stav
1.	18	11	1,6	5,8	Plný
2.	20	15	1,3	4,7	Plný
3.	35	21	1,7	6,1	Plný
4.	30	21	1,4	5,0	Plný
5.	23	14	1,6	5,8	Plný
6.	31	20	1,6	5,8	Plný
7.	28	16	1,8	6,5	Plný
8.	25	17	1,5	5,4	Plný
9.	72	27	2,7	9,7	Prázdný
10.	16	9	1,8	6,5	Prázdný
11.	31	15	2,1	7,6	Prázdný
12.	25	11	2,3	8,3	Prázdný
13.	14	5	2,8	10,1	Prázdný
14.	38	15	2,5	9,0	Prázdný
15.	44	18	2,4	8,6	Prázdný
16.	35	15	2,3	8,3	Prázdný

Z naměřených hodnot lze vyčíslit, že se obsluha VZV až na jedno mírné překročení snažila dodržovat maximální dovolenou rychlost pro pohyb v halách. Stejně tak jako pro operační časy je potřeba provést výpočty statistických ukazatelů z měření rychlostí pohybu VZV pro zjištění, zda je počet náměrů dostatečný. Výsledky výpočtů jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10 Statistické ukazatele naměřených rychlostí pojezdu

Stav	MAX		MIN		\bar{X}		n	s		K_r	v	e_v
	[m/s]	[km/h]	[m/s]	[km/h]	[m/s]	[km/h]	[1]	[m/s]	[km/h]	[1]	[%]	[%]
Plný	1,8	6,5	1,3	4,7	1,6	5,8	8	0,2	0,7	1,4	0,13	1,86
Prázdný	2,8	10,1	1,8	6,5	2,4	8,6	8	0,3	1,1	1,6	0,13	1,86

Výpočtem se ověřilo, že počet měření o rozsahu 16-ti náměrů je dostatečný (e_v nepřekračuje hranici 2 %) a lze jej považovat za použitelný vzorek.

Výpočty

Výpočet statistických ukazatelů pro rychlost pojezdu plného vozíku, dosazeno do vzorců 2.1 – 2.5. Výsledky jsou přehledně uvedeny v Tab. 10.

Průměrná hodnota časové řady

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{1,6 + 1,3 + 1,7 + 1,4 + 1,6 + 1,6 + 1,8 + 1,5}{8} = \underline{\underline{1,6 \text{ m/s}}}$$

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(1,6-1,6)^2 + (1,3-1,6)^2 + (1,7-1,6)^2 + \dots + (1,6-1,6)^2 + (1,8-1,6)^2 + (1,5-1,6)^2}{8-1}} = \underline{\underline{0,2 \text{ m/s}}}$$

Koeficient rozpětí časové řady

$$K_r = \frac{X_{\max}}{X_{\min}} = \frac{1,8}{1,3} = \underline{\underline{1,4}}$$

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{0,2}{1,6} = \underline{\underline{0,13\%}}$$

Výběrová chyba průměru

$$e_v = \frac{v}{n-1} \cdot 100\% = \frac{0,13}{8-1} \cdot 100\% = \underline{\underline{1,86\%}}$$

Výpočet statistických ukazatelů pro rychlost pojezdu prázdného vozíku, dosazeno do vzorců 2.1 – 2.5. Výsledky jsou přehledně uvedeny v Tab. 10.

Průměrná hodnota časové řady

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{2,7 + 1,8 + 2,1 + 2,3 + 2,8 + 2,5 + 2,4 + 2,3}{8} = \underline{\underline{2,4 \text{ m/s}}}$$

Směrodatná odchylka

$$\begin{aligned}s &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \\&= \sqrt{\frac{(2,7-2,4)^2 + (1,8-2,4)^2 + (2,1-2,4)^2 + \dots + (2,5-2,4)^2 + (2,4-2,4)^2 + (2,3-2,4)^2}{8-1}} = \\&= \underline{\underline{0,3 \text{ m/s}}}\end{aligned}$$

Koeficient rozpětí časové řady

$$K_r = \frac{X_{\max}}{X_{\min}} = \frac{2,8}{1,8} = \underline{\underline{1,6}}$$

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{X}} = \frac{0,3}{2,4} = \underline{\underline{0,13\%}}$$

Výběrová chyba průměru

$$e_v = \frac{v}{n-1} \cdot 100\% = \frac{0,13}{8-1} \cdot 100\% = \underline{\underline{1,86 \ %}}$$

4 Simulace navrhovaných řešení

V navrhování modelu a samotné simulaci se studuje systém pohybů VZV ve výrobní hale, resp. možných variant těchto pohybů. Tyto varianty je nutné nejdříve učít a poté sestavit model pro simulaci. Dříve, než se začne vyhotovovat model, je nutné upravit data, která mě byla poskytnuta podnikem, tak aby byla přijatelná pro simulační program Witness, jelikož z těchto dat bude simulační model čerpat informace o času vzniku požadavku, jednotlivých zájezdových trasách apod. Úprava vstupních dat pro model a návrh variant řešení budou obsahem následujících kapitol.

4.1 Vstupní data pro simulační model

Jak už bylo zmíněno výše, simulační model bude čerpat informace ze vstupních dat uložených v Excelovském sešitu. Aby Witness mohl čerpat z tohoto souboru, musejí být data pro usnadnění spolupráce tohoto programu upravena tak, aby program nebyl zbytečně zatěžován slovními znaky. Řešením je tedy převést slovní znaky na znaky numerické a vytvořit konkrétní klíč, aby bylo možné později získané výstupy převést zpět do původní podoby. Následující tabulka (Tab. 11) představuje část surových dat požadavků podniku na manipulaci materiálu za pomoci VZV.

Tab. 11 Surová vstupní data pro model

Date	From	To	Artikl
1.9.2011 1:10:40	KB58/VG9	D207	6071083.06AND
1.9.2011 2:37:00	KB58/VG9	D207	6055043R01.023C
1.9.2011 2:47:50	KPQ35EHS	D043	6540209R00.00
1.9.2011 2:55:59	KC170/C3	E333	9613540.E
1.9.2011 3:00:51	KAUDI	D207	6604052R01.04

V záhlaví tabulky je uvedeno datum a čas vzniku požadavku na manipulaci (*Date*), manipulační místo, kde požadavek vznikl (*From*) – místo nakládky, dále manipulační místo, kam má být materiál za pomoci VZV přepraven (*To*) – místo vykládky a označení materiálu určeného k manipulaci (*Artikl*). Takto získaná data je nyní zapotřebí převést do numerických znaků.

Dříve, než se provede transformace předchozí tabulky do numerické podoby, se nesmí zapomenout na zmiňované vyhotovení klíče, dle kterého se budou slovní označení převádět do numerických a naopak, týká se to především míst nakládky a vykládky a označení materiálu. Následující tabulka (Tab. 12) je již výsledkem převedení slovních znaků na numerické.

Tab. 12 Upravená vstupní data pro model

Čas [min]	Od	Do	ID_artiklu
0	37	39	169
86	37	39	129
97	28	26	200
105	36	38	251
110	30	39	216

Stejně jako v předchozí tabulce je uveden v záhlaví čas vzniku požadavku na manipulaci, který je však převeden do simulačního času začínajícího v čase 0 a sledovaného v minutách. Dále je uvedeno místo vzniku požadavku (Od) a místo, kam má být materiál přepraven (Do), obojí uvedeno jako číslo bodu v matici vzdáleností (viz příloha B). Při přiřazování čísel manipulačním místům jsem vycházela z již vypracované identifikace manipulačních míst (viz příloha A). V posledním sloupci tabulky je uvedeno nové číselné označení materiálu (ID artiklu).

Další nepostradatelnou součástí vstupního datového souboru je přiložená matice vzdáleností, ze které bude model vycházet při určování vzdáleností mezi jednotlivými manipulačními místy. Nyní jsou takto upravená vstupní data připravena k použití.

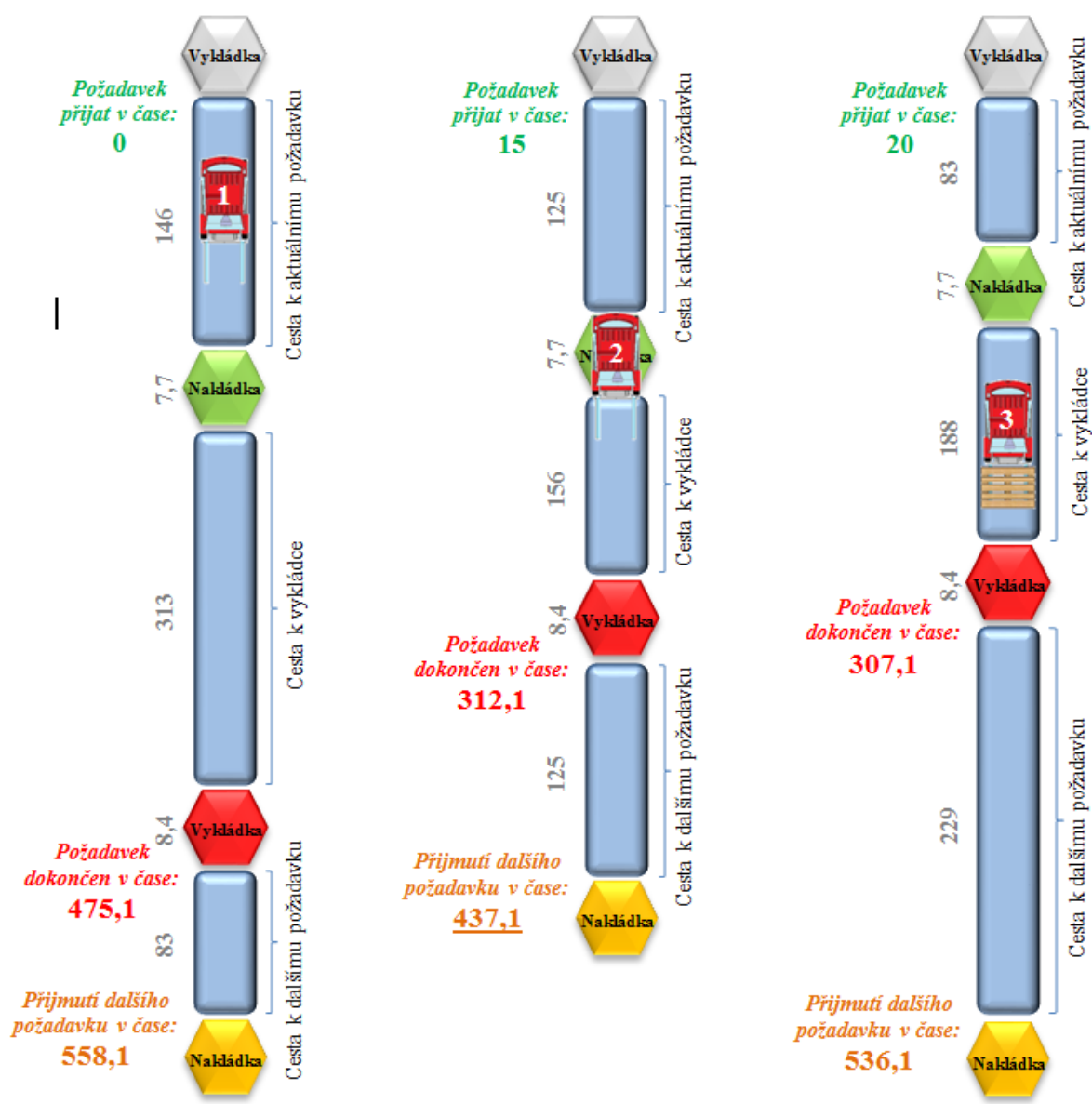
4.2 Navrhovaná řešení

Cílem je definování systému práce, podle kterého se bude obsluha VZV řídit. Tento nový systém má ve výsledku způsobit úbytek neproduktivních jízd a snížení spotřeby pohonných hmot, na kterých díky novému systému podnik ušetří. V následujících kapitolách budou popsány dva způsoby řešení zadaného problému.

4.2.1 Nejdřívější obslužení požadavku

Podstata tohoto řešení spočívá v co nejdřívějším obslužení vzniklého požadavku na manipulaci materiálu. V průběhu simulace se bude rozhodovat mezi pěti vozíky a dle následujícího postupu bude požadavek přiřazen konkrétnímu zvolenému VZV.

Rozhodovat se bude na základě vytvořeného algoritmu definovaného tak, aby byl v okamžiku vstupu nového požadavku vyzván VZV, který bude moci požadavek obsloužit v co nejkratším čase. Tento čas, který bude již spočten v okamžiku vstupu nového požadavku, je výsledkem součtu času dokončení aktuálního obsluhovaného požadavku VZV a času pro dojetí VZV z místa vykládky k místu nakládky nového požadavku. Tento čas bude spočten pro každý VZV zvlášť a bude vybrán ten, jehož výsledný čas bude nejmenší (Obr. 11).



Obr. 11 Příklad volby konkrétního VZV

Na Obr. 11 je uveden příklad výpočtu času a princip rozhodování stanoveného algoritmu modelu této varianty. Na obrázku jsou pro názornou ukázkou uvedeny jen tři VZV, každý je označen číslicí od jedné do tří. Tyto vozíky jsou zachyceny v průběhu plnění konkrétních požadavků, jejich trasy jsou proto rozdílné dle závislosti na trasách definovaných požadavky na manipulaci

Jako startovní bod trasy VZV je uvedena šedě podbarvená vykládka. Jedná se o manipulační místo, kde byl ukončen předešlý požadavek (VZV vyložil materiál daného požadavku a je připraven obsloužit další požadavek). V tomto okamžiku se vydává VZV na cestu k dalšímu, již aktuálnímu požadavku (není-li další požadavek, VZV čeká na jeho příchod). Na konci této cesty se VZV dostává k zeleně podbarvené nakládce materiálu. Po naložení materiálu směřuje k manipulačnímu místu, kde tento materiál vyloží (červeně podbarvená vykládka). Tímto je ukončena obsluha aktuálního požadavku.

Jestliže v průběhu této popsané cesty přišel další požadavek, vypočte se v tomto okamžiku čas, kdy nejdříve se bude moci VZV věnovat tomuto požadavku. Šedé číslice v obrázku představují čas v sekundách pro vykonání příslušné aktivity. Stejně jako je tomu v simulačním modelu, vycházela jsem z počátečního času 0. Každý ze tří vozíků přijal svůj předchozí požadavek v různém čase. K tomuto času se připočte doba trvání obslužení konkrétního aktuálního požadavku pro každý VZV, tím se získá čas dokončení aktuálního požadavku. Nyní se připočte pro každý VZV čas, který by byl potřebný pro zdolání cesty k nakládce dalšího požadavku a získá se tak čas pro přijmutí (vykonání žlutě podbarvené nakládky) dalšího požadavku.

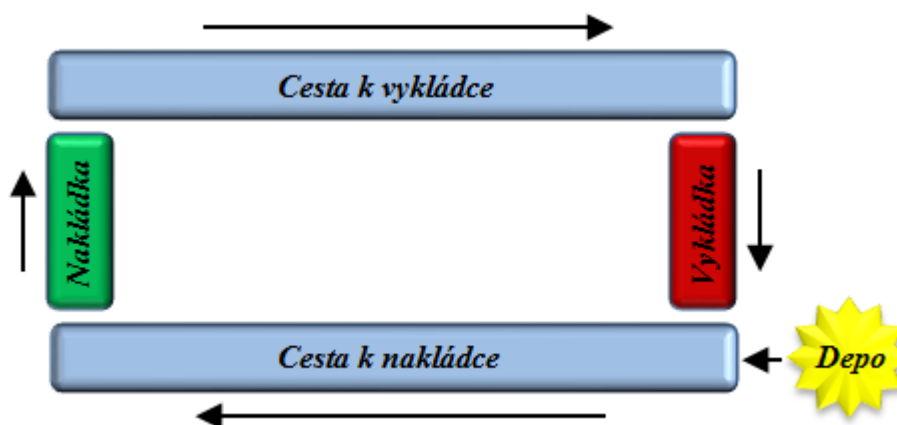
Tento získaný časový údaj nyní poslouží k přiřazení dalšího požadavku na manipulaci konkrétnímu VZV, jehož čas pro přijmutí bude nejmenší, proto bude moci obsloužit požadavek ze všech VZV nejdříve (podtržená hodnota v Obr. 11). Po přiřazení požadavku konkrétnímu vozíku se přičte čas pro obslužení přiřazeného požadavku do proměnné (každý vozík má svou proměnnou), čas se pro přijmutí dalšího příchozího požadavku tedy o hodnotu přiřazeného požadavku navýší. Tento výpočet se opakuje, dokud existují požadavky na manipulaci materiálu.

4.2.2 Počet obsluhujících VZV

Druhé řešení, které zde bude popsáno, je rozšířením předcházejícího řešení, jehož podstata spočívá ve volbě takového VZV, který je schopný obsloužit požadavek co nejdříve. Počítá se u něj s fixním počtem VZV a hledá pouze úsporu ve snížení neproduktivních jízd. Další úsporu, kterou můžeme najít je ve změně počtu VZV. Změnou tohoto počtu můžeme změnit jak množství neproduktivních jízd, tak i náklady spojené s množstvím používaných VZV. Podnik v současné době vlastní pět VZV, které obsluhují příchozí požadavky na manipulaci materiálu. Cílem tohoto řešení je najít takové optimum, které se bude zabývat závislostí mezi počtem obsluhujících VZV a množstvím neproduktivních jízd. Doporučena bude ta varianta, která bude představovat největší úsporu pro podnik.

4.3 Simulační model

Pokud jsou získána všechna potřebná data pro simulaci, je možné sestavit simulační model. Jednou z možností by bylo vložit cesty na layout výrobní haly tak, jak tomu je ve skutečnosti, to by bylo však příliš pracné a zdlouhavé. Efektivnějším a také univerzálnějším řešením je vytvoření zájezdových okruhů (Obr. 12), po kterých se budou jednotlivé VZV pohybovat. Jeden okruh představuje práci pouze jednoho VZV (5 VZV = 5 okruhů).



Obr. 12 Zájezdový okruh VZV

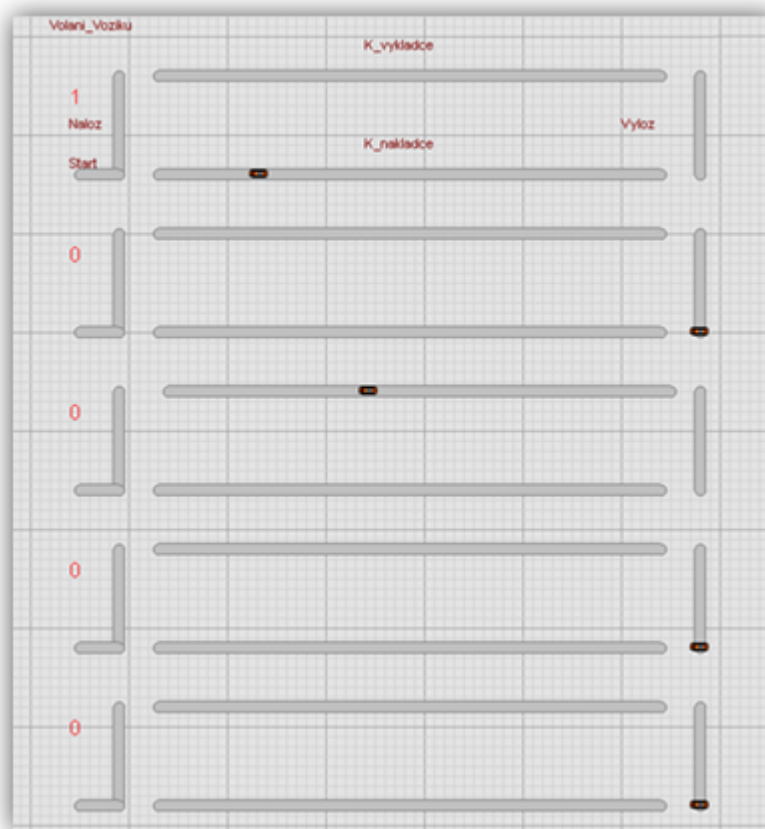
Nakládku a vykládku v modelu představují cesty, na nichž se VZV zdržují po stanovenou dobu, která vyplývá z měření v provozu. Při prvním požadavku vyjíždí VZV z depa a vydává se cestou k nakládce, která má délku dle matice vzdáleností, poté navazuje na nakládku. Po uplynutí doby nakládky se vydává na cestu k vykládce, jejíž délka je vyhledána opět v matici vzdáleností. Po vykonání vykládky zůstane VZV stát na konci cesty nakládky a čeká na zavolání k dalšímu požadavku. Po přiřazení požadavku se vydává opět na cestu k nakládce.

5 Vyhodnocení simulačních experimentů, zhodnocení výsledků

V předchozí kapitole byly navrženy a prosimulovány dvě varianty řešení. První řešení se zabývalo obslužením požadavku v co nejkratším čase, kdy byl požadavek přiřazen takovému VZV, který jej mohl obsloužit co nejdříve. Druhé řešení se zabývalo samotným počtem VZV, které požadavky obsluhují. Výsledkem tohoto řešení mělo být doporučení, kolik VZV by bylo pro podnik optimální. Vyhodnocení simulací navrhnutých řešení je uvedeno v následujících dvou kapitolách.

5.1 Nejdřívější obslužení požadavku

Cílem tohoto řešení bylo navržení takového algoritmu, na základě kterého se simulační model (Obr. 13) rozhodoval, kterému z pěti VZV přiřadí vzniklý požadavek na manipulaci materiálu. Podstata tohoto algoritmu spočívala ve výpočtu času dokončení aktuálního požadavku u všech VZV a na jehož základě bylo rozhodnuto, který VZV bude moci obsloužit nejdříve další vzniklý požadavek.



Obr. 13 Ukázka simulačního modelu

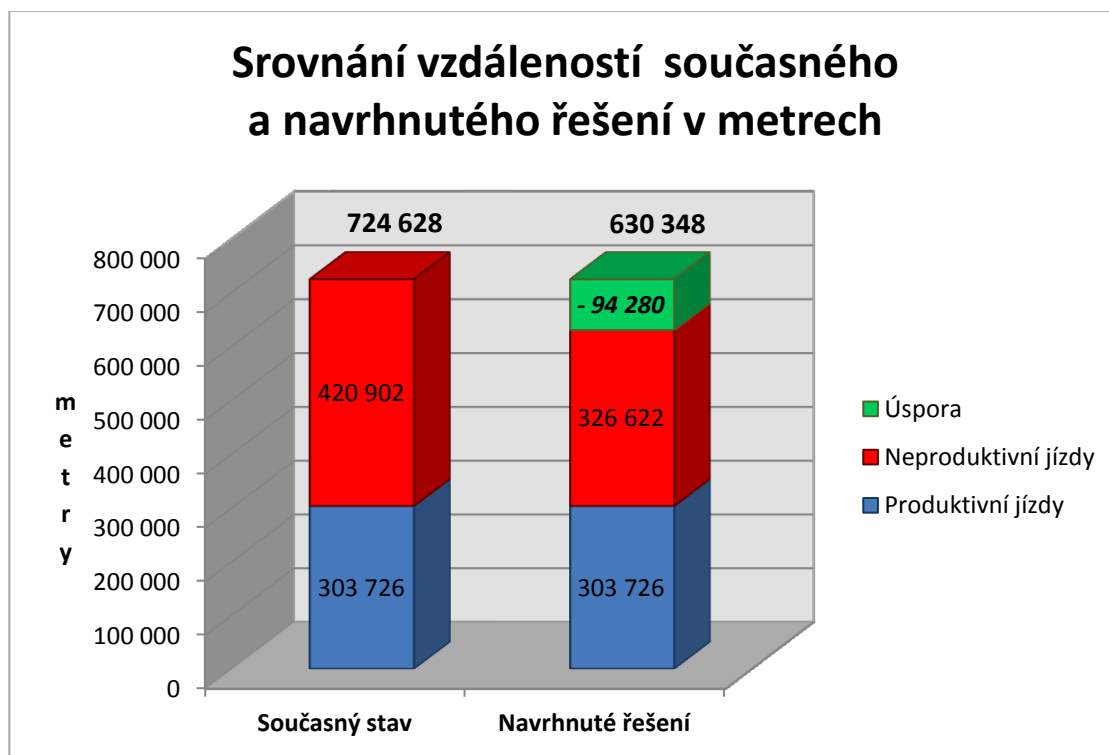
Následující tabulka (Tab. 13) obsahuje přehled porovnání současného stavu s výsledky navrženého řešení. Celková ujetá vzdálenost při současném stavu v podniku za sledované období činí 724,6 km. Při použití navržené varianty by bylo možné ujet 630,3 km, to je tedy o 94,3 km méně neproduktivních jízd.

Tab. 13 Srovnání vzdáleností současného stavu s výsledky navrženého řešení

Rozpis vzdáleností	Současný stav [m]	Navržené řešení [m]
Produktivní jízdy	303 726	303 726
Neproduktivní jízdy	420 902	326 622
Celková ujetá vzdálenost	724 628	630 348
Úspora		- 94 280

Pozn.: Ujetá vzdálenost produktivních jízd zůstává neměnná, jelikož jak u současného stavu, tak i v navržené variantě plní totožné požadavky, tudíž místa nakládky a vykládky zůstávají stejná, VZV tedy musí urazit při plnění požadavků stejnou vzdálenost.

Grafické znázornění dosažených výsledků řešení z předcházející tabulky je zobrazeno v Grafu 3. Zelená část sloupce navrženého řešení představuje dosaženou úsporu, o kterou se sníží ujetá vzdálenost neproduktivních jízd. Celková ujetá vzdálenost je zobrazena tučnými číslicemi nad oběma sloupci.



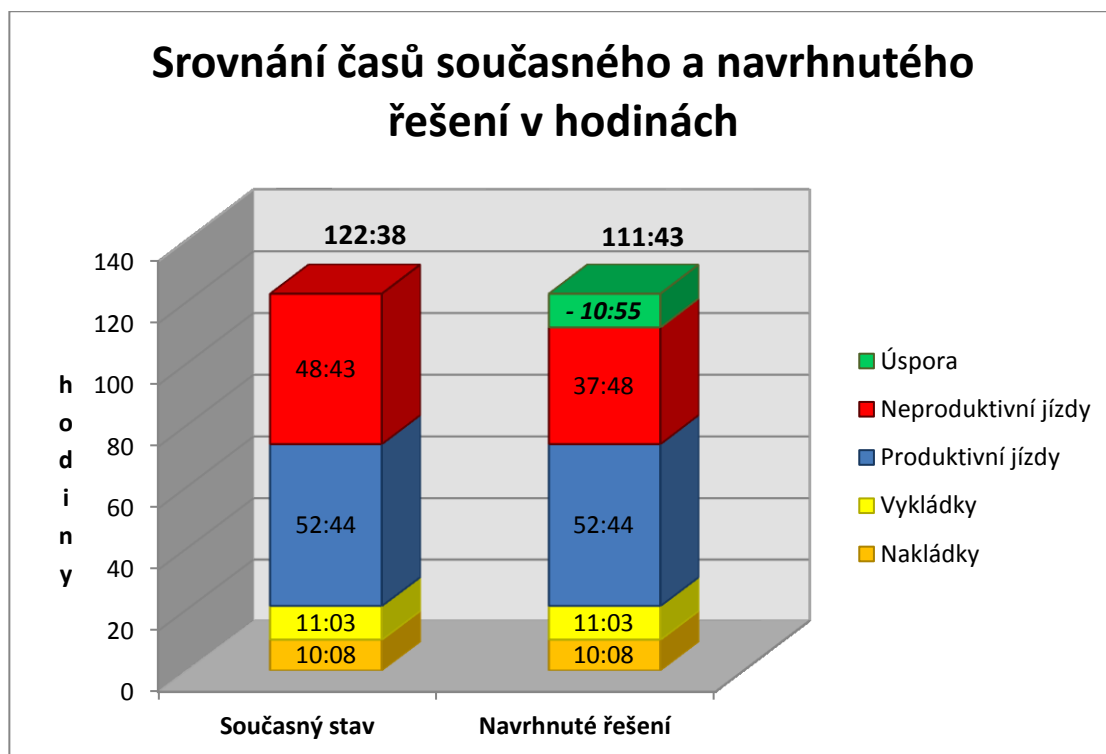
Graf 3 Srovnání vzdáleností současného a navrženého stavu

Další možností porovnání současného stavu a navržené varianty je z pohledu času, který by obsluha strávila jízdou. Toto srovnání za sledované období je uvedeno v Tab. 14. Celkový čas představuje dobu práce VZV na požadavcích zahrnující všechny časy nakládek, vykládek, produktivních a neproduktivních jízd. Snížením neproduktivních jízd je možné uspořit 10 hodin a 55 minut, které by obsluha VZV strávila jízdou na prázdno.

Tab. 14 Srovnání časů současného stavu s výsledky navrhnutého řešení

Rozpis časů	Současný stav [hhh:mm]	Navrhnuté řešení [hhh:mm]
Produktivní jízdy	52:44	52:44
Neproduktivní jízdy	48:43	37:48
Nakládky	10:08	10:08
Vykládky	11:03	11:03
Čas celkem	122:38	111:43
Úspora		- 10:55

V následujícím Grafu 4 je znázorněn přehled z předchozí uvedené tabulky. Zelená část sloupce navrženého řešení představuje dosaženou úsporu, o kterou se sníží čas strávený neproduktivními jízdami. Celkový čas obsluhování požadavků je zobrazen tučnými číslicemi nad oběma sloupci.



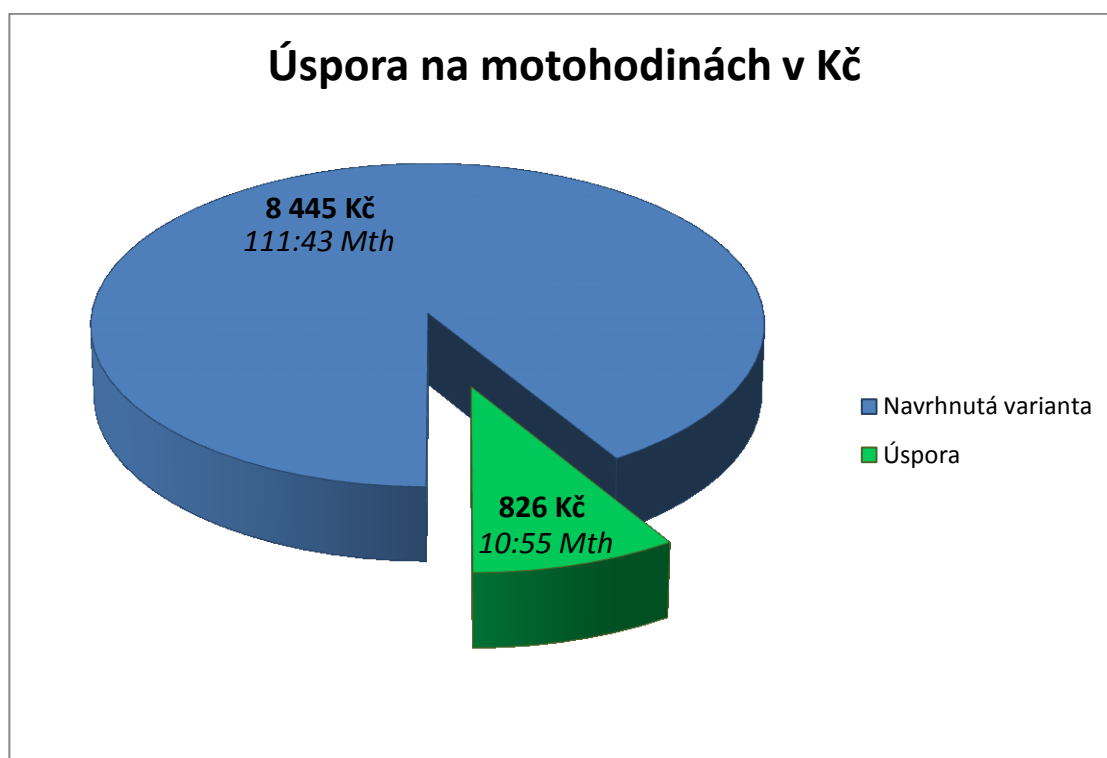
Graf 4 Srovnání časů současného a navrhnutého řešení

Důležitým srovnáním současného stavu a navržené varianty je z pohledu finanční úspory ve sledovaném období. Tuto úsporu můžeme vyjádřit převedením celkového počtu motohodin na úsporu v korunách. Náklady na jednu motohodinu činí 75,60 Kč. Vypočtené náklady a celkový počet motohodin je uveden v Tab. 15. Z tabulky je možné vyčíst, že snížením produktivních jízd z pohledu motohodin lze uspořit pouze 826 Kč za toto sledované období.

Tab. 15 Úspora na neproduktivních jízdách v Kč

Rozpis časů	Současný stav	Navrhnuté řešení
Celkový čas motohodin	122 h 38 min	111 h 43 min
Finanční náklady	9 271 Kč	8 445 Kč
Úspora		- 826 Kč

V následujícím Grafu 5 je znázorněná úspora navrhnutého řešení v motohodinách a korunách vyplývající ze snížení počtu ujeté vzdálenosti neproduktivních jízd. Tato úspora, která představuje 826 Kč, zahrnuje úsporu paliva odpovídající celkovému množství o obsahu 22,9 litrů.



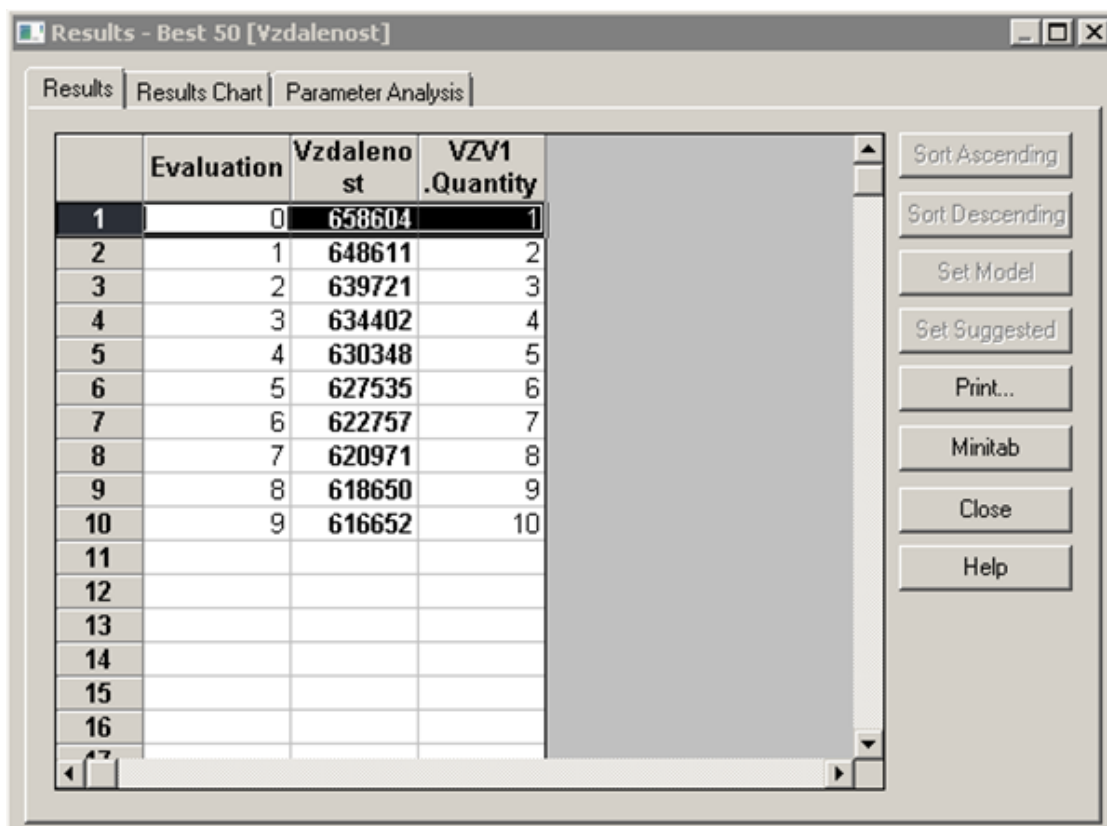
Graf 5 Úspora navrhnutého řešení na motohodinách v Kč

5.2 Počet obsluhujících VZV

Podstata tohoto návrhu stála na základě řešení předcházejícího, kdy navržený optimalizační algoritmus z předchozího řešení byl aplikován na měnící se počet obsluhujících VZV. Výsledkem mělo být nalezení takového optimálního počtu VZV, který bude představovat největší úsporu pro podnik.

Toto řešení bylo simulováno za pomoci nástavby, kterou simulační program Witness umožňuje. Nástavba se jmenuje Optimizer a umožňuje hledat optimální řešení složitých problémů jednoduchou cestou. Po zadání úkolu výpočetní technika pracuje sama bez zásahu uživatele a poté vypíše výsledky, které pak uživatel zpracovává a vyhodnocuje.

V současné době podnik užívá pět VZV. Řešení bylo navrženo pro sledování změn měnícího se počtu VZV od jednoho do desíti zařízení. Výsledné rozdíly mezi jednotlivými počty VZV budou dále uvedeny v grafech. Výsledné okno použitého Optimizeru je uvedeno na Obr. 14. V této chvíli je známo kolik metrů celkem ujede jednotlivý počet obsluhujících VZV při plnění požadavků na manipulaci.



	Evaluation	Vzdalenost	VZV1 .Quantity
1	0	658604	1
2	1	648611	2
3	2	639721	3
4	3	634402	4
5	4	630348	5
6	5	627535	6
7	6	622757	7
8	7	620971	8
9	8	618650	9
10	9	616652	10
11			
12			
13			
14			
15			
16			

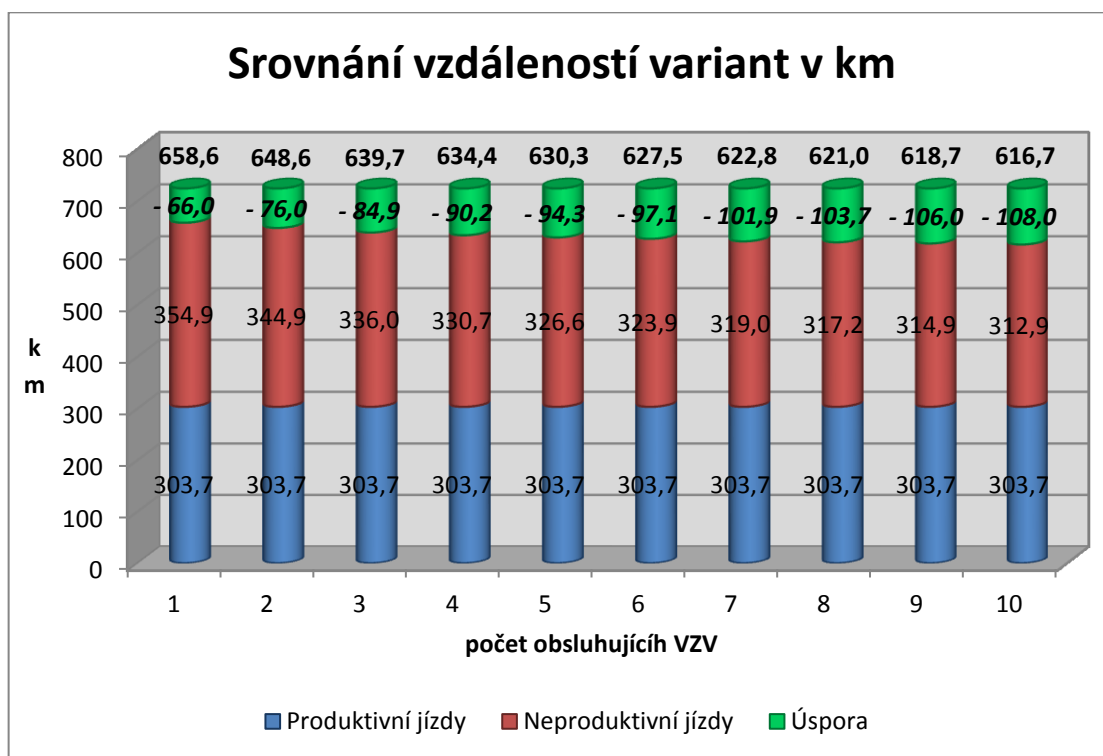
Obr. 14 Výsledné okno Optimizeru pro 1 -10 VZV

Srovnání současného stavu s výsledky Optimazeru je uvedeno v Tab. 16. První řádek tabulky představuje hodnoty současného stavu. V následujících deseti řádcích jsou uvedeny výsledky ze simulace pro daný počet použitých VZV včetně úspor na neproduktivních jízdách.

Tab. 16 Srovnání vzdáleností současného stavu s měnícím se počtem obsluhujících VZV

	Počet VZV	Produktivní jízdy [m]	Neproduktivní jízdy [m]	Celková vzdálenost [m]	Úspora [m]
Současný stav	5	303 726	420 902	724 628	-
Výsledky simulace pro daný počet VZV	1	303 726	354 878	658 604	66 024
	2	303 726	344 885	648 611	76 017
	3	303 726	335 995	639 721	84 907
	4	303 726	330 676	634 402	90 226
	5	303 726	326 622	630 384	94 280
	6	303 726	323 809	627 535	97 093
	7	303 726	319 031	622 757	101 871
	8	303 726	317 245	620 971	103 657
	9	303 726	314 924	618 650	105 978
	10	303 726	312 926	616 652	107 976

Výsledky z tabulky jsou znázorněné v Grafu 6. Je z něj patrné, že s přibývajícím počtem obsluhujících VZV výše úspory roste. Tučná čísla představují celkovou vzdálenost.



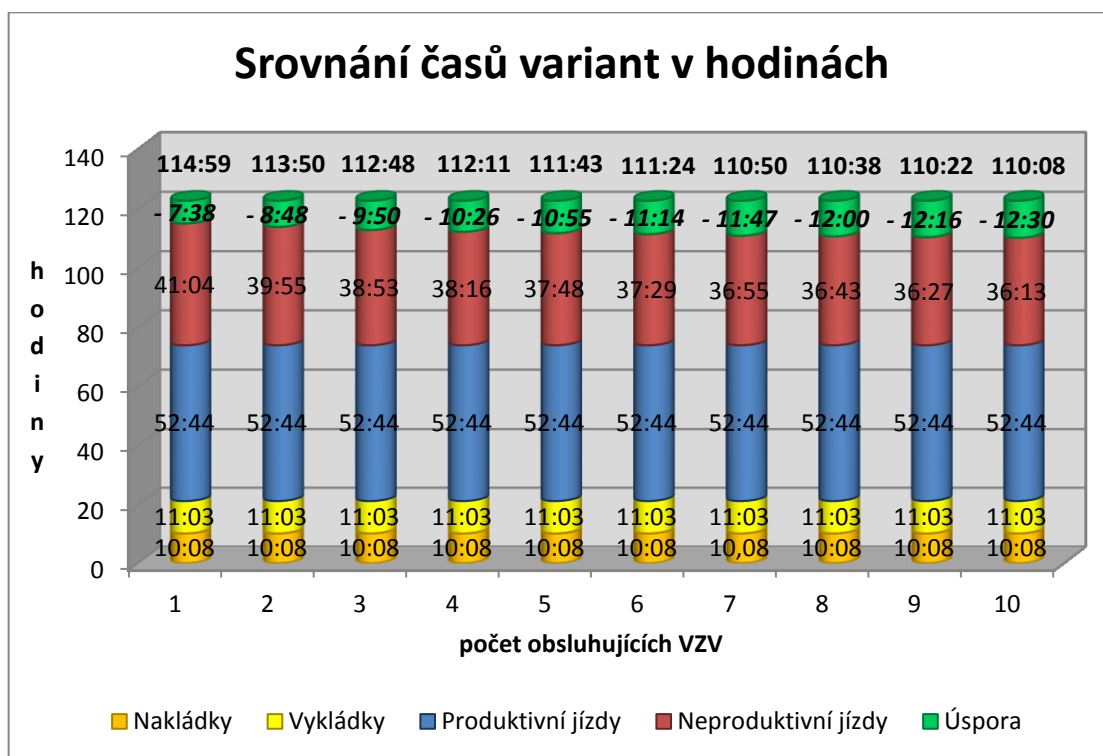
Graf 6 Srovnání vzdáleností variant v km

Převedením vzdáleností předcházející tabulky na čas získáme představu o uspořené době, kterou by jinak obsluha VZV strávila jízdou. Srovnání je uvedeno v Tab. 17. Celkový čas představuje součet nakládek, vykládek, produktivních a neproduktivních jízd.

Tab. 17 Srovnání časů současného stavu s měnícím se počtem obsluhujících VZV

	Počet VZV	Nakládky [hh:mm]	Vykládky [hh:mm]	Produkt. j. [hh:mm]	Neprodukt. j. [hh:mm]	Celk. čas [hhh:mm]	Úspora [hh:mm]
S. s.	5	10:08	11:03	52:44	48:43	122:38	-
Výsledky simulace pro počet VZV	1	10:08	11:03	52:44	41:04	114:59	7:38
	2	10:08	11:03	52:44	39:55	113:50	8:48
	3	10:08	11:03	52:44	38:53	112:48	9:50
	4	10:08	11:03	52:44	38:16	112:11	10:26
	5	10:08	11:03	52:44	37:48	111:43	10:55
	6	10:08	11:03	52:44	37:29	111:24	11:14
	7	10:08	11:03	52:44	36:55	110:50	11:47
	8	10:08	11:03	52:44	36:43	110:38	12:00
	9	10:08	11:03	52:44	36:27	110:22	12:16
	10	10:08	11:03	52:44	36:13	110:08	12:30

Hodnoty uvedené v tabulce jsou zobrazeny v Grafu 7. Stejně jako tomu bylo u předchozího grafu, úspora času roste se zvyšujícím se počtem obsluhujících VZV.



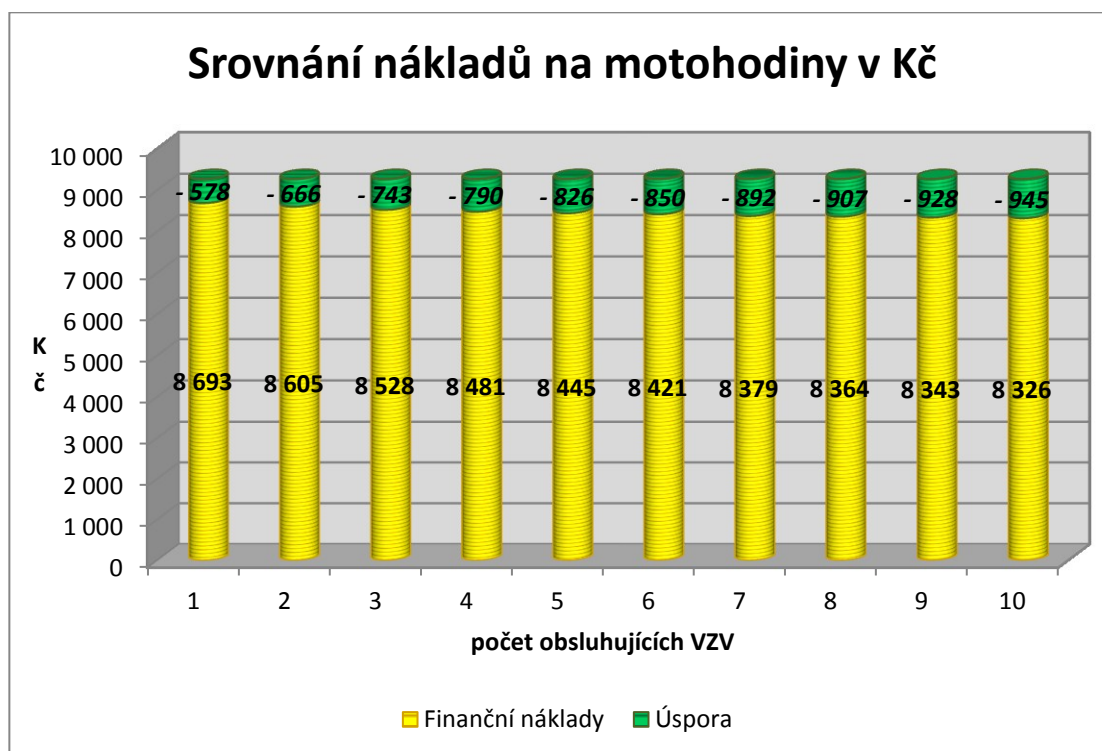
Graf 7 Srovnání časů variant v hodinách

Další pohled na úsporu jednotlivých variant je z pohledu nákladů na motohodinu. Výše motohodin vyplývá z předcházející tabulky a na jejím základě je sestavena Tab. 18, která uvádí výši finančních nákladů jednotlivých variant s porovnáním se současným stavem.

Tab. 18 Srovnání nákladů současného stavu s měnícím se počtem obsluhujících VZV

	Počet VZV	Mth celkem [hhh:mm]	Finanční náklady [Kč]	Úspora [Kč]
<i>Současný stav</i>	5	122:38	9 271	-
<i>Výsledky simulace pro daný počet VZV</i>	1	114:59	8 693	578
	2	113:50	8 605	666
	3	112:48	8 528	743
	4	112:11	8 481	790
	5	111:43	8 445	826
	6	111:24	8 421	850
	7	110:50	8 379	892
	8	110:38	8 364	907
	9	110:22	8 343	928
	10	110:08	8 326	945

Grafické znázornění finančních nákladů a úspor v Kč oproti současnému stavu je uveden v Grafu 8. V závislosti s klesajícím počtem motohodin a nákladů na ně úspora roste.



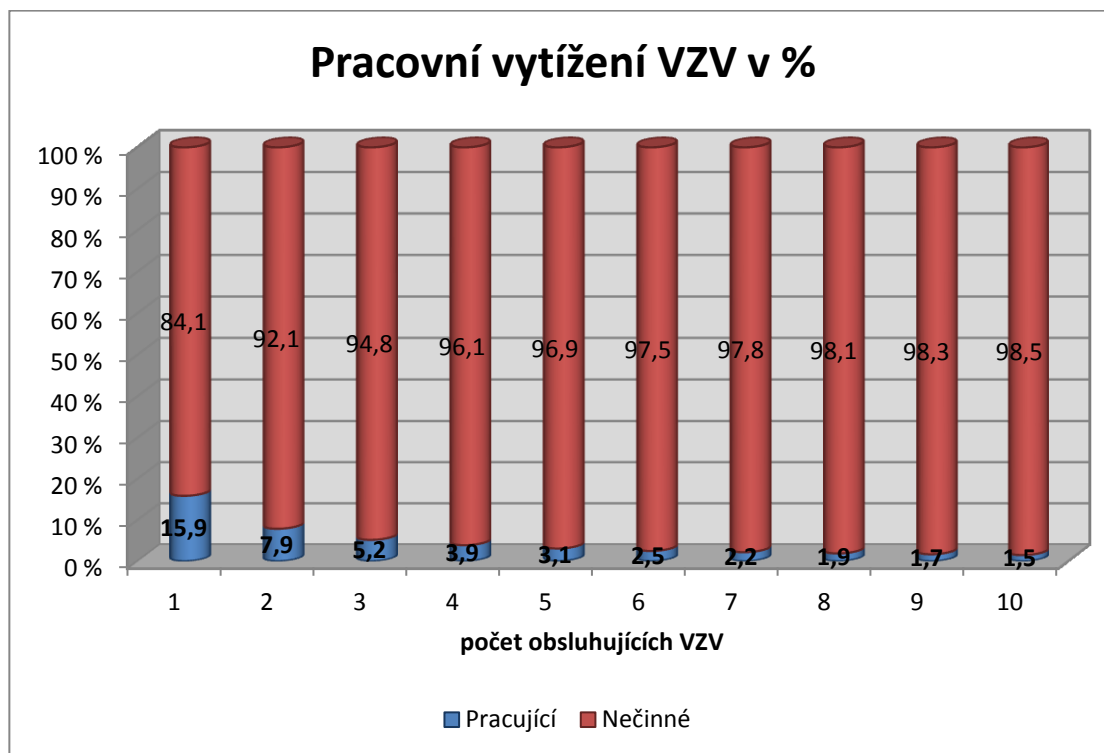
Graf 8 Srovnání nákladů na motohodiny v Kč

Důležitou sledovanou veličinou je pracovní vytížení skupiny VZV. S měnícím se počtem VZV v jednotlivé skupině je vytížení celé skupiny odlišné. Protože množství požadavků zůstává neměnné, je možné předpokládat, že vytížení při více obsluhujících VZV bude nižší nežli při menším počtu. Následující tabulka (Tab. 19) tento předpoklad potvrzuje.

Tab. 19 Srovnání pracovního vytížení jednotlivých variant

Počet VZV	Pracující [%]	Nečinné [%]
1	15,9	84,1
2	7,9	92,1
3	5,2	94,8
4	3,9	96,1
5	3,1	96,9
6	2,5	97,5
7	2,2	97,8
8	1,9	98,1
9	1,7	98,3
10	1,5	98,5

Hodnoty z uvedené tabulky jsou zobrazeny v Grafu 9. Pracovní vytížení vycházející ze statistik simulace je u všech variant velice nízké a vypovídá o nadbytečnosti VZV v provozu.



Graf 9 Pracovní vytížení VZV v %

Výsledky provedené simulace za pomoci Optimazeru včetně srovnání se současným stavem byly uvedeny v předcházejících tabulkách a grafech. Nyní bude uvedeno srovnání nákladů na opravy a údržbu vztahujících se na počet používaných VZV. Výsledkem by měl být přehled nákladů na jednotlivé počty VZV s doporučením, kolik VZV se podniku z hlediska těchto nákladů vyplatí vlastnit.

Z předchozí tabulky vyplývá, že současný počet obsluhujících VZV je nadbytečný, proto budou srovnávány skupiny vozíků od jednoho až po současných pět používaných kusů. Přehled jednotlivých nákladů a četnost jejich výskytu je uveden v Tab. 20. Tyto údaje se vztahují na jeden používaný VZV.

Tab. 20 Náklady na jeden používaný VZV

Typ nákladů	Četnost	Průměrné náklady
Běžné opravy	1x za 1 ÷ 2 měsíce	500 Kč
Střední opravy	1x za 3 ÷ 6 měsíců	6 000 Kč
Generální oprava	1x za životnost	220 000 Kč
Technická kontrola	1x ročně	1 000 Kč
Spotřeba paliva na Mth	doplnění dle potřeby	75,60 Kč / Mth
Opotřeбені pneumatik	po ujetých 1000 hod.	4 000 Kč
Jiná údržba	ročně	9 000 Kč
Řidič VZV	měsíčně	15 000 Kč

Pro lepší porovnání budou náklady počítány za jeden rok. Tam, kde četnost výskytu není pevně stanovena, zvolím střední průměr četnosti výskytu na 9x za rok pro běžné opravy a 3x za rok pro střední opravy. Jelikož je generální oprava provedena jen jednou za životnost VZV (cca po 10 letech užívání), rozpočítám tyto náklady do zbývajících let životnosti jednotlivých VZV. V následující Tab. 21 je uveden souhrn VZV a informací o jejich předpokládané životnosti s rozpočtem generální opravy do jednotlivých zbývajících roků.

Tab. 21 Počet kusů VZV s rokem výroby a předpokládanou životností

Rok výroby	Počet kusů	Životnost	Zbývajících roky	Rozpočet / ks
2003	2	2013	1	220 000 Kč
2005	2	2015	3	73 333 Kč
2006	1	2016	4	55 000 Kč

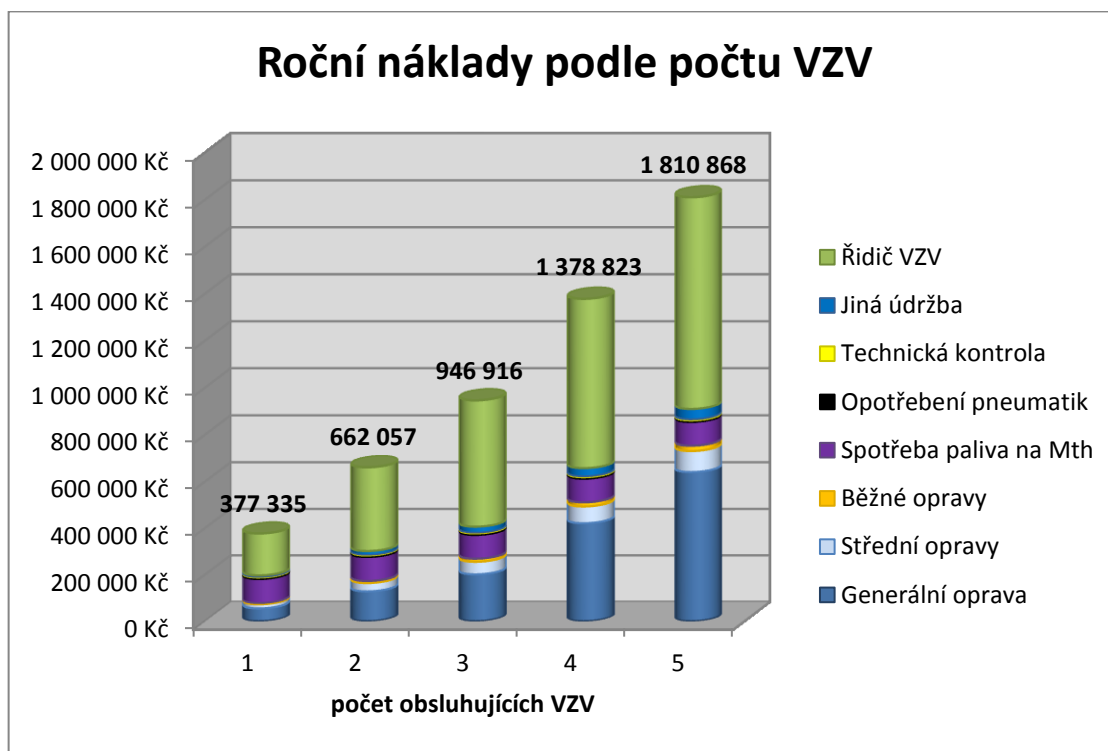
Z tabulky je patrné, že konec životností VZV se blíží a bude tedy brzy nutné podstoupit jejich generální opravy a prodloužit tak jejich životnost.

V následující tabulce (Tab. 22) jsou uvedeny roční náklady připadající na určitou skupinu VZV. Tyto náklady vycházejí z Tab. 20. Způsob výpočtu některých nákladů uvedených v tabulce je popsán za následujícím grafem.

Tab. 22 Porovnání ročních nákladů podle počtu obsluhujících VZV

Typ nákladů	Roční náklady na počet VZV [Kč]				
	1	2	3	4	5
Běžné opravy	4 500	9 000	13 500	18 000	22 500
Střední opravy	18 000	36 000	54 000	72 000	90 000
Generální oprava	55 000	128 333	201 666	421 666	641 666
Technická kontrola	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
Spotřeba paliva na Mth	104 316	103 260	102 336	101 772	101 340
Opotřebení pneumatik	5 519	5 464	5 414	5 385	5 362
Jiná údržba	9 000	18 000	27 000	36 000	45 000
Řidič VZV	180 000	360 000	540 000	720 000	900 000
Průměrné náklady	377 335	662 057	946 916	1 378 823	1 810 868

Roční náklady jednotlivých skupin VZV jsou vyobrazeny v Grafu 10. Výše celkových nákladů (tučná čísla nad sloupci) se mění v závislosti na počtu používaných VZV. Podle tohoto grafu je pro podnik nejvýhodnější vlastnit pouze jeden obsluhující VZV.



Graf 10 Roční náklady podle počtu VZV

Při výpočtu generálních oprav jsem vycházela od použití nejmladších VZV až po nejstarší (např. skupina dvou VZV = rok výroby 2005 a 2006, atd.). Spotřebu paliva jsem vypočetla na základě Tab. 17, kdy jsem měsíční finanční náklady připadající ke konkrétní skupině VZV vynásobila 12, abych získala náklady pro celý rok. Obdobně jsem vypočítala i opotřebení pneumatik, kdy jsem vycházela ze stejné tabulky a zaměřila jsem se na celkové měsíční motohodiny. Tyto hodnoty jsem pro každou skupinu VZV vynásobila 12, abych dostala celkový čas jízdy za celý rok. Poté jsem tento čas převedla na opotřebení pneumatik.

5.3 Zhodnocení výsledků

Prvním krokem bylo navržení algoritmu, na základě kterého se simulační model rozhodoval, kterému z pěti VZV přiřadí vzniklý požadavek na manipulaci materiálu. Vybrán byl ten VZV, který byl schopný tento požadavek obsloužit co nejdříve. V tomto kroku se počet VZV neměnil a zůstal stejný, jako tomu je v současném stavu. Navržený algoritmus představuje jeden z cílů této práce a to nadefinování systému práce při pohybu VZV po výrobní hale podniku. Pohyb by už neměl být chaotický, ale plynulý s jasně stanovenými přerozdělenými úkoly.

Výsledky tohoto řešení s porovnáním se současným stavem za sledovaný měsíc jsou uvedeny v Tab. 23.

Tab. 23 Porovnání výsledků řešení za měsíc na neproduktivních jízdách

Neproduktivní jízdy	Současný stav	Navrhnuté řešení	Úspora	Optimalizace
Vzdálenost	420 902 m	326 622 m	94 280 m	22,4 %
Čas	48:43 hod.	37:48 hod.	10:55 hod.	
Finanční náklady	3 683 Kč	2 857 Kč	826 Kč	

Optimalizací systému práce, podle kterého se bude obsluha VZV řídit při plnění vzniklých požadavků lze ušetřit na neproduktivních jízdách oproti současnému stavu celkem 22,4 %. Ve finančních nákladech se tato celková úspora za všech pět obsluhujících VZV promítne pouze jako 826 Kč za měsíc. Další možnou úsporu pro podnik je možné hledat ve změně počtu obsluhujících VZV.

Druhým krokem bylo zjištění, jak se budou výsledky simulace měnit při změně celkového počtu obsluhujících VZV. Stejně jako v předchozím řešení se VZV pohybovali dle algoritmu definujícího systém práce. Počet VZV byl měněn v rozmezí od 1 do 10 pracujících zařízení za pomoci použité nástavby Witnessu, která se nazývá Optimizer. Cílem tohoto řešení mělo být nalezení optimálního počtu VZV, který bude představovat největší úsporu pro podnik.

Pro porovnání výsledků provedené simulace nám stačí hodnoty uvedené v Tab. 24, které představují srovnání minimálního a maximálního počtu obsluhujících VZV v rámci tohoto řešení za sledovaný měsíc. Důvodem, proč uvádím výsledky jen pro jeden a deset VZV je rovnoměrné narůstání úspor se zvyšujícím se počtem VZV. Tato tabulka tedy představuje minimální a maximální úspory, kterých je možno na neproduktivních jízdách optimalizací dosáhnout.

Tab. 24 Porovnání výsledků simulace za měsíc pro 1 a 10 obsluhujících VZV

Neprodukt. jízdy	Současný stav	1 VZV			10 VZV		
		Výsledky	Úspora	Opti.	Výsledky	Úspora	Opti.
Vzdálenost [m]	420 902	354 878	66 024	15,7 %	312 926	107 976	25,7 %
Čas [hod.]	48:43	41:04	7:38		36:13	12:30	
Fin. Náklady [Kč]	3 683	3 105	578		2 738	945	

Z tabulky je patrné, že optimalizační rozdíl mezi jedním a deseti obsluhujících VZV je v rozmezí 10 %. Převedením na měsíční úsporu činí tento rozdíl 367 Kč. Z tohoto hlediska se podniku příliš nevyplatí vlastnit více obsluhujících VZV, jelikož úspora na neproduktivních jízdách se o moc nezvýší.

Důležitým pohledem, na základě kterého je možné rozhodovat o tom, kolik obsluhujících VZV se podniku vyplatí vlastnit, je ze strany pracovního vytížení celé skupiny, které je možné zjistit ze statistik provedené simulace. Jelikož zůstává množství požadavků pro každý počet VZV stejný, bude se pracovní vytížení zvyšujícího se počtu VZV snižovat. Výsledky pracovních vytížení byly uvedeny v předcházející kapitole a poukazují na současnou nadbytečnost obsluhujících VZV. Při pěti VZV je pracovní vytížení rovno pouhým 3,1 %, po zbytek doby obsluha čeká, až vznikne další požadavek na manipulaci, který bude mít za úkol obsloužit. V případě, že by požadavky obsluhoval jen jeden VZV, zvýšilo by se pracovní vytížení na 15,9 %. Na základě tohoto výsledku je možné podniku doporučit, aby snížil počet

pracujících VZV na jeden, který bez problémů zvládne obsloužit všechny vzniklé požadavky na manipulaci. Podnik by však měl mít v záloze přístup k dalšímu VZV, kterým by mohl v případě poruchy toto zařízení nahradit. Náhradní VZV podnik nemusí vlastnit, na výběr má možnost pronájmu na dobu, po kterou bude potřeba, aby zastupoval opravovaný VZV. Stejně tak by měl mít mezi pracovníky jednoho záložního řidiče VZV.

Se snížením počtu VZV v provozu budou nižší i celkové náklady na opravy a údržbu. V následující Tab. 25 je uvedeno porovnání nákladů na doporučený 1 a současných 5 VZV. Změnou počtu obsluhujících VZV v podniku je možné dosáhnout průměrné úspory až 1 433 533 Kč ročně. Úspory, kterých lze snížením o 4 VZV budou podniku velkým přínosem.

Tab. 25 Srovnání nákladů na 1 a 5 VZV

Typ nákladů	Roční náklady [kč]	
	1 VZV	5 VZV
Běžné opravy	4 500	22 500
Střední opravy	18 000	90 000
Generální oprava	55 000	641 666
Technická kontrola	1 000	5 000
Spotřeba paliva na Mth	104 316	101 340
Opotřebení pneumatik	5 519	5 362
Jiná údržba	9 000	45 000
Řidič VZV	180 000	900 000
Průměrné náklady	377 335	1 810 868
Úspora	1 433 533	

Hledání úspory pouze ve snížení vzniku neproduktivních jízd se podniku příliš moc nevyplatí. Touto cestou by podnik při současném počtu 5 VZV maximálně ušetřil pouze 9 912 Kč ročně. Snížení počtu VZV tedy doporučuji jako nutný zásah pro dosažení uvedených průměrných úspor ve výši 1 433 533 Kč za rok.

Výsledky provedených simulací a z nich plynoucí závěry poukazují na to, proč podnik pociťoval potřebu vnést určitý systém práce do pohybování obsluhy VZV po provozu. Z důvodu nízkého pracovního vytížení pěti VZV určených k obsluze požadavků docházelo ke vzniku spousty volného času, ve kterém obsluha neměla co na práci a hledala, kde se ve výrobě vyskytnul další požadavek na manipulaci materiálu. Pohyb VZV byl proto chaotický a vznikalo zbytečně mnoho neproduktivních jízd jen proto, aby si obsluha vyhledala práci, která však vznikala po delších časových intervalech.

5.4 Implementace navrženého systému práce do provozu

Zde uvedené doporučení na implementaci systému práce do provozu se týká jak jednoho pracujícího, tak i většího počtu VZV.

V současné době se obsluha VZV nepohybuje na základě podmiňujících informací o tom, kde má splnit požadavek na manipulaci materiálu a kam má být materiál převezen. Navržení algoritmu, který přiřadí vzniklý požadavek na manipulaci konkrétnímu VZV a definuje tak systém práce je prvním krokem. Druhým neméně podstatným krokem je způsob, jak se dostanou informace o tomto požadavku na manipulaci ke konkrétní přiřazené obsluze VZV. Řešením tohoto úkolu je nasazení mobilního terminálu do každého VZV. Tento terminál je vyvinut přímo pro používání ve VZV a funguje na základě propojení obsluhy s informačním systémem.

Mobilní terminály lze rozdělit do několika kategorií. Podle způsobu interakce s informačním systémem rozeznáváme terminály dávkové a online. Dávkové terminály pracují zcela autonomně a k informačnímu systému jsou připojovány pouze „občas“ (obvykle prostřednictvím PC), aby se přenesla pořízená data do IS a do terminálu načetly aktuální seznamy zboží, nové příkazy k manipulaci materiálu atp. Zcela odlišná je spolupráce online terminálu s IS: mobilní terminál je s informačním systémem propojen v reálném čase pomocí rádiové sítě, která pokrývá prostor skladu, výrobní haly nebo logistického centra. A tedy i údaje jsou aktualizovány v reálném čase – uživatel mobilního terminálu má k dispozici vždy poslední stav požadavků na manipulaci, jím zaznamenaná nakládka se ihned promítne do databáze IS systému bez jakéhokoli zpoždění.

Výhody použití online terminálů jsou tedy evidentní. Na druhou stranu, určitou překážkou v jejich plošném nasazení je vyšší cena v porovnání s dávkovým řešením (daná nejen o něco vyšší cenou vlastního online terminálu, ale zejména nutností vybudovat potřebnou infrastrukturu – tedy rádiovou síť). Ve větších skladech a logistických centrech nicméně výhody online řešení převažují a jejich používání je v porovnání s dávkovými systémy čím dál tím častější. Druhou možností dělení mobilních terminálů je jejich design, resp. stupeň „mobility“. Existují tzv. handheld terminály (terminály do ruky, Obr. 16), které svou malou hmotností a rozměry umožňují, aby je obsluha nosila při sobě jako „osobní nástroj“.

Požadavek malé hmotnosti a rozměrů samozřejmě logicky vede k omezení velikosti obrazovky a klávesnice a tím i ke kompromisům v komfortu práce. Velká řada přesunů zboží

ve skladech se ovšem odehrává pomocí manipulačních nebo vysokozdvizných vozíků a mobilní terminál by mohl být jejich součástí. Pak odpadá požadavek na minimalizaci hmotnosti a částečně i rozměrů (nicméně jistá „kompaktnost“ designu je žádoucí), řešení terminálu se může více soustředit na komfort obsluhy. Vznikla tak samostatná třída tzv. „Vehicle Mount Terminals“ (VMT), tedy mobilních terminálů určených pro montáž do manipulačních vozíků (Obr. 15). [16]



Obr. 15 Mobilní terminál určený pro montáž do VZV [17, 18]

Používání čárového kódu pro identifikaci zboží je již zcela běžné, a tak mobilní terminál samozřejmě umožňuje připojení různých typů snímačů od běžných až po speciální snímače s dlouhým dosahem (několik metrů). K terminálu lze také připojit paletu tiskáren a přímo ve skladu tisknout etikety s čárovým kódem nebo průvodní dokumenty k zásilkám.



Obr. 16 Terminály do ruky [19]

V okamžiku, kdy rozsah materiálových toků je takový, že jej není možné zvládat bez využití nejmodernějších technických prostředků, jsou mobilní terminály do vozíků významnou součástí celého řešení.

5.4.1 Doba návratnosti investice

Investiční náklady představují pořízení jednoho vozíkového online terminálu včetně jeho automatického dobíjení z VZV. Aby terminál byl v přímém spojení s informačním systémem a mohl přijímat nové požadavky, musí se ve výrobní hale vybudovat rádiová síť. V Tab. 26 je uvedena orientační cena jednoho vozíkového online terminálu a souhrn předpokládaných nákladů na pořízení rádiové sítě. Mezi tyto náklady spadá pořízení přístupových bodů, antén, krabic, pigtailů, napájení, rozvaděčů, kabeláže a spotřebního materiálu včetně práce. Celkové předpokládané náklady na zavedení doporučeného řešení implementace systému práce do provozu představuje částku ve výši 660 000 Kč.

Tab. 26 Předpokládané náklady na zavedení vozíkového terminálu

Druh nákladu	Cena
Vozíkový online terminál	70 000 Kč
Rádiová síť	590 000 Kč
Náklady celkem	660 000 Kč

V okamžiku, kdy je známa úspora z navrženého řešení a náklady připadající na pořízení potřebných zařízení na jeho implementaci je možné vypočítat předpokládanou dobu návratnosti investice. V Tab. 27 je uveden přehled dosažitelných úspor a předpokládané náklady, které jsou vloženy do vzorce pro výpočet doby návratnosti nacházejícího se pod tabulkou.

Tab. 27 Úspora navrženého řešení a náklady investice

Srovnávané položky	Cena
Roční úspora při snížení počtu 5 VZV na 1	1 433 533 Kč
Předpokládané náklady na investici	660 000 Kč

$$\text{doba návratnosti} = \frac{\text{vynaložené náklady}}{\text{peněžní příjem z vylepšení za rok}} = \frac{660\,000}{1\,433\,533/365} = \underline{\underline{168\text{ dnů}}}$$

Z výpočtu doby návratnosti investice vyplývá, že vynaložené náklady na pořízení vozíkového online terminálu a rádiové sítě se navrátí za 168 dnů, neboli za necelý půlrok. Pokud bude v budoucnu potřeba zvýšit počet obsluhujících VZV, je možné přikoupit další vozíkové terminály a připojit je do již vybudované rádiové sítě.

6 Zobecnění a zhodnocení navržených postupů

Jedním z cílů práce je uvedení obecného postupu, podle kterého bude možné postupovat při řešení podobných problematik. Tento obecný postup přispěje k výrazné úspoře času řešiteli, který se bude tímto podobným případem zabývat. V následující kapitole budou popsány jednotlivé kroky, které bude nutné splnit, aby se dosáhlo požadovaných výsledků řešeného případu.

Na závěr této kapitoly bude uvedeno zhodnocení celé práce včetně rekapitulace dosažených výsledků.

6.1 Zobecnění navržených postupů

Kapitolu lze rozdělit do tří částí. První část se zabývá získáním potřebných dat z informačního systému daného podniku, ve kterém se zadaný problém řeší. V druhé části je soustředěna pozornost na určení manipulačních míst, na kterých probíhají ložné operace. Třetí část bude věnována manipulační technice.

6.1.1 Data z informačního systému podniku

Nejdříve musíme získat data, ze kterých zjistíme současný stav řešené problematiky nacházející se v podniku. Data by měla být v rozmezí alespoň jednoho měsíce za poslední období. Důležité je, aby data nebyla příliš strohá obsahující jen pár požadavků.

Vyžádaná data (v podobě excelovského sešitu), která podnik poskytne, obsahují spoustu informací o materiálu a požadavcích na manipulaci. Ze surových dat je tedy nutné vyjmout jen takové informace, které budeme potřebovat jako vstupní data pro simulaci. Sledovány budou informace týkající se času vzniku požadavku, místo, na kterém požadavek vznikl, místo, kam má být materiál přepraven a označení materiálu.

Upravená surová data je dobré převést do podoby, která nebude zbytečně zatěžovat průběh simulace slovními znaky.

6.1.2 Místa obsluhy a délka tras mezi nimi

Důležitým podkladem pro tento krok je layout řešené oblasti, ve kterém se vyskytují sledovaná manipulační místa. Tato sledovaná manipulační místa vyplývají z dat informačního systému, z kterých je potřeba vytvořit seznam. V okamžiku, kdy máme layout a označení manipulačních míst k dispozici, může se začít se zakreslováním. Je dobré, když s určování těchto míst pomůže někdo, kdo v podniku má na starosti logistiku pohybů VZV po provozu, aby se eliminovala chybná určení. V některých případech se může stát, že označení manipulačních míst, která poskytne podnik z jejich informačního systému, se vyskytují přímo v layoutu.

Layout se zakreslenými manipulačními místy je výchozí dokument pro určení délek tras mezi jednotlivými body. Určit tyto vzdálenosti je možné více způsoby, mohou se např. měřit v grafických programech jako je AutoCad nebo v tištěném layoutu mapometrem, výpočtem síťového grafu apod. Výsledkem naměřených vzdáleností je matice vzdáleností mezi jednotlivými manipulačními místy.

6.1.3 Analýza stávající manipulační techniky

Tato analýza se týká manipulační techniky, v tomto případě VZV. Jednotlivé informace, které je potřeba získat o VZV jsou rozepsány v několika následujících odstavcích.

Počet a typ VZV

Důležitým číslem pro simulaci je počet VZV, které vykonávali požadavky ze získaných dat informačního systému. Aby byly údaje celistvější, provede se identifikace typů těchto používaných VZV.

Poruchovost a údržba

Jako každý stroj, tak i VZV vyžaduje určitou údržbu a vyskytují se u něj poruchy. Údaje o poruchách a údržbě je potřeba získat, aby se simulace blížila co nejvíce realitě a výsledek byl co nejpresnější. Tyto údaje by měl dát podnik k dispozici, pokud se ale tak nestane, může být simulace provedena i bez nich.

Způsob manipulace a operační časy

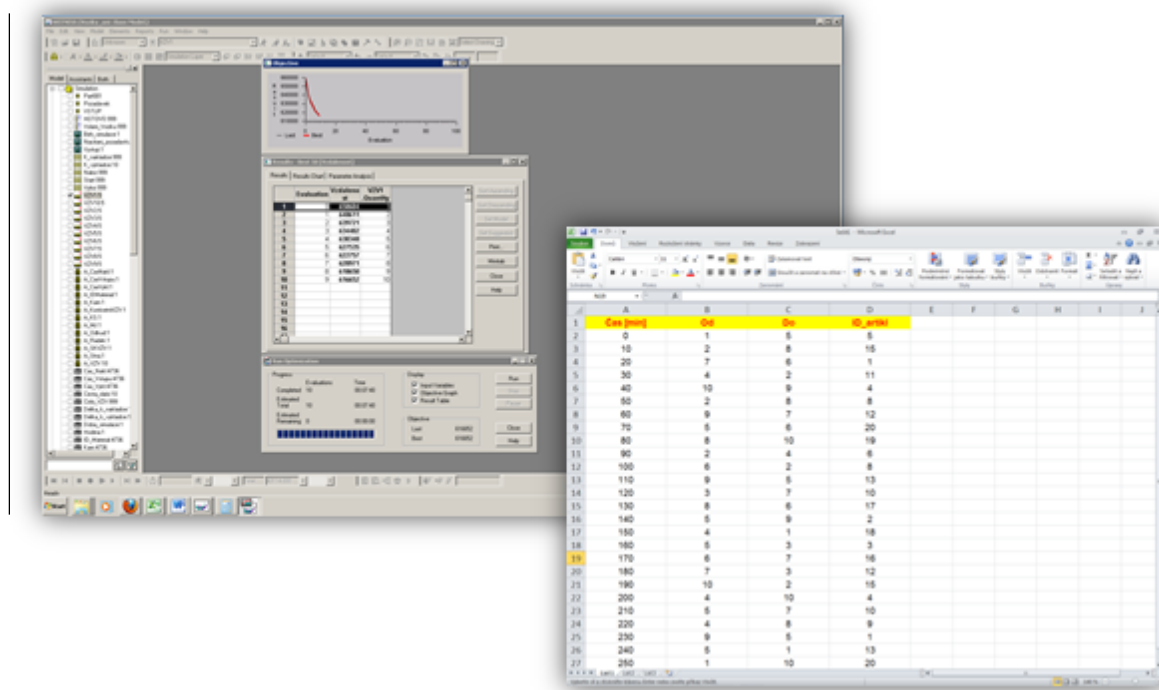
Způsob manipulace se odvíjí od používaných manipulačních jednotek. Nejčastěji jsou převáženy palety na vidlích, které jsou součástí VZV. Operační časy nakládek a vykládek je nutné změřit přímo v podniku. Není dobré se při měření soustředit jen na jeden a tentýž VZV, při měření by se mělo provést měření na větším počtu (každá obsluha VZV může mít jiné tempo práce). Počet náměrů by měl být takový, aby vypočtené průměrné hodnoty byly co nejpřesnější.

Rychlost pojezdu VZV

Stejně tak jako operační časy nakládek a vykládek, musí být rychlost pojezdu VZV změřen v podniku, aby nedošlo ke zkreslení údajů. Jedním ze způsobů, jak změřit rychlost pohybu VZV je vyměření určité vzdálenosti cesty, kudy se VZV pohybují a poté změření času, za jak dlouho zvládli VZV tuto cestu zdolat. Tento postup by se měl provést na více místech provozu.

6.1.4 Simulace

V okamžiku, kdy máme takto nashromážděná data, můžeme provést samotnou simulaci navržené varianty. Vstupní data pro vytvořený model představují upravená data, která již máme přichystána. Na Obr. 17 je zobrazeno okno Witnessu a vstupní sešit Excelu.



Obr. 17 Okno Witnessu a vstupní sešit Excelu

6.2 Zhodnocení

Diplomová práce se zabývala optimalizací výrobního procesu v podniku z pohledu snížení manipulační náročnosti. Pojem manipulační náročnost v tomto případě představoval celkovou vzdálenost, kterou VZV urazili při plnění požadavků na manipulaci materiálu.

V současné době vlastní podnik 5 VZV, které obsluhují vzniklé požadavky. Provozem se pohybují bez určitého systému práce a vzniká tak spousta neproduktivních jízd, které chce podnik snížit. Jedním z cílů bylo navrhnutí tohoto systému práce, podle kterého se bude obsluha při plnění požadavků řídit. Řešení zadaného problému jsem vypracovávala za pomoci simulačního programu Witness, kdy jsem navrhla algoritmus, jehož podstata spočívala ve výpočtu časů dokončení aktuálního obsluhovaného požadavku pro všech 5 VZV. Na základě tohoto času byla vypočítána u všech VZV doba, kdy budou moci nejdříve obsloužit následující vniklý požadavek na manipulaci materiálu. Vybrán a přiřazen k vniklému požadavku byl takový VZV, který byl schopný obsloužit požadavek co nejdříve.

Aby mohla být provedena simulace navrženého řešení, musela jsem nashromáždit data týkající se rychlostí pojezdů VZV, nakládek, vykládek a vytvořit matici vzdáleností mezi jednotlivými manipulačními místy. Většinu z těchto úkonů jsem prováděla přímo v provozu.

Simulací navrženého řešení jsem získala výsledky o úspoře na neproduktivních jízdách. Neproduktivní jízdy nelze plně odstranit, vždy budou vznikat případy, kdy pojede VZV naprázdno z místa vykládky do místa další nakládky. V současnosti představují neproduktivní jízdy v podniku při plnění požadavků 420 902 m z celkové ujeté vzdálenosti. Kdyby se obsluha řídila navrženým systémem práce, činily by neproduktivní jízdy 326 622 m, to je tedy o 94 280 m méně. Optimalizací se dosáhlo uspořit na neproduktivních jízdách 22,4 %.

Další možností získání úspory bylo z hlediska změny počtu obsluhujících VZV. Stejně jako v předchozím řešení jsem použila algoritmus definující systém práce. Za pomoci Optimazeru byl počet obsluhujících VZV měněn v rozmezí od 1 do 10 pracujících zařízení. Z této simulace jsem získala další představu o možné úspoře na neproduktivních jízdách. Předpokladem úspory byl vyšší počet obsluhujících VZV na neměnění se množství požadavků. Při obsluze požadavků pouze jedním VZV činí neproduktivní jízdy 354 878 m, to je o 15,7 % méně než v současném stavu. Při pracujících 10 VZV představují neproduktivní jízdy 312 926 m, neboli o 25,7 % méně oproti současnosti. Rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším počtem obsluhujících VZV je 10 %.

Rozhodujícím pohledem na množství pracujících VZV bylo stanovení pracovní vytíženosti jednotlivých skupin. Ukázalo se, že současný počet obsluhujících VZV čítající 5 zařízení je naprosto nadbytečný. Při tomto počtu bylo pracovní vytížení pouhých 3,1 %. V případě, kdy by požadavky byly obsluhovány pouze jedním VZV, odpovídalo by vytížení 15,9 %. Z tohoto důvodu doporučuji, aby byl počet pracujících VZV snížen na jeden VZV. O tom, že je toto rozhodnutí správné vypovídají i náklady, které je možné tímto způsobem uspořít.

Pouhým zavedením systému práce se nedosáhne takové úspory, jako by tomu bylo v případě snížení celkového počtu obsluhujících VZV. Při současném počtu 5 VZV je možno získat úsporu na neproduktivních jízdách pouze 9 912 Kč ročně. V okamžiku snížení obsluhujících VZV o 4 zařízení, bude tato úspora na opravách a údržbě představovat pro podnik průměrně 1 433 533 Kč ročně.

Nízká pracovní vytíženost měla za následek také to, proč podnik pocíťoval potřebu vnést určitý systém práce do pohybu VZV po provozu. Obsluze vznikala spousta volného času, který trávila tím, že hledala další požadavek na manipulaci materiálu čekající na obsloužení. Pohyb VZV byl proto chaotický a vznikalo zbytečně mnoho neproduktivních jízd jen proto, aby si obsluha vyhledala práci, která však vznikala až po delších časových intervalech.

Jedním ze způsobů, jak implementovat navržený systém práce do provozu je použití vozíkového online terminálu. S pořízením terminálu je také nutno vybudovat v provozu rádiovou síť. Pokud se sníží celkový počet VZV na doporučený jeden, bude doba návratnosti investice odpovídat přibližně 168 dnům.

7 Seznam použité literatury

- [1] JÍLEK, V., LÍBAL, V., REMTA, F. *Manipulace s materiálem*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1978. 232 s. ISBN 04-321-78.
- [2] ČERVINKA, V. a kol. *Racionalizace organizace výroby a manipulace s materiálem*, 2. svazek. 1. vyd. Praha: Orgaprojekt, 1972. 432 s. ISBN 59-039-72.
- [3] DRAŽAN, F., JEŘÁBEK, K. *Manipulace s materiálem*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1979. 456 s. ISBN 04-220-79.
- [4] LÍBAL, V. a kol. *Organizace a řízení výroby*. 7. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. 559 s. ISBN 80-03-00050-5
- [5] RAJNIŠ, S. *Projektování racionalizace mezioperační manipulace*. 1. vyd. Praha: Institut manipulačních, dopravních, obalových a skladovacích systémů, 1974. 159 s.
- [6] HOLÍK, J. *Komparace výsledků simulace vybraných systémů hromadné obsluhy v simulačním programu Witness*. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009. 62 s. Bakalářská práce, vedoucí: Teichmann D.
- [7] ZELENKA, A., Král, M. *Projektování výrobních systémů*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1995. 365 s. ISBN 80-01-01302-2.
- [8] *Wikipedie* [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vysokozdvizny%C3%BD_voz%C3%ADk> [cit. 2012-26-4].
- [9] *Humusoft* [online]. Dostupné z: <<http://www.humusoft.com/archived/pub/witness/9910/manlig>> [cit. 2012-26-4].
- [10] *Linde* [online]. Dostupné z: <<http://www.linde-mh.cz/vysokozdvizny-vozik/h-30-d-ex-rada-351~174>> [cit. 2012-26-4].
- [11] *Linde* [online]. Dostupné z: <<http://www.linde-mh.cz/vysokozdvizny-vozik/h-25-d-rada-392~13>> [cit. 2012-26-4].
- [12] *Linde* [online]. Dostupné z: <<http://www.vitkovicecylinders.cz/default/file/download/id/6305/inline/1>> [cit. 2012-26-4].
- [13] *Emporo* [online]. Dostupné z: <<http://www.emporo.cz/ohradova-paleta-kovova-1200-x-800-mm-4-plne-bocnice-barva-modra-ral5010/d-79064/>> [cit. 2012-26-4].
- [14] *Palety Morava* [online]. Dostupné z: <<http://www.paletymorava.cz/euro-palety.html>> [cit. 2012-26-4].
- [15] *Doprava v praxi* [online]. Dostupné z: <<http://www.doprava.vpraxi.cz/eurpaleta.html>> [cit. 2012-26-4].
- [16] *System On Line* [online]. Dostupné z: <<http://www.systemonline.cz/clanky/terminaly-do-manipulacnich-voziku.htm>> [cit. 2012-26-4].
- [17] *Barco* [online]. Dostupné z: <<http://www.barco.cz/?id=produkty&sel=5>> [cit. 2012-26-4].

- [18] *Mecalux logismarket* [online]. Dostupné z: <<http://www.logismarket.cz/dhs-data-hardware-software/vozikovy-terminal/1735789136-947645449-p.html>> [cit. 2012-26-4].
- [19] *Kodys* [online]. Dostupné z: <<http://www.kodys.cz/produkty/mobilni-terminaly/rucni-prumyslove-terminaly/motorola-mc9500.html>> [cit. 2012-26-4].

8 Přehled použitých obrázků, tabulek a grafů

8.1 Seznam obrázků

Obr. 1 Popis vysokozdvížného vozíku [8]	13
Obr. 2 Princip simulace [9]	15
Obr. 3 Layout výrobního areálu podniku	21
Obr. 4 Typy používaných VZV v podniku [10, 11]	23
Obr. 5 Kovová ohradová paleta [13]	27
Obr. 6 Europaleta [14, 15]	27
Obr. 7 Začátek nakládky	28
Obr. 8 Konec nakládky	28
Obr. 9 Začátek vykládky	28
Obr. 10 Konec vykládky	28
Obr. 11 Příklad volby konkrétního VZV	37
Obr. 12 Zájezdový okruh VZV	39
Obr. 13 Ukázka simulačního modelu	40
Obr. 14 Výsledné okno Optimizeru pro 1 -10 VZV	44
Obr. 15 Mobilní terminál určený pro montáž do VZV [17, 18]	55
Obr. 16 Terminály do ruky [19]	55
Obr. 17 Okno Witnessu a vstupní sešit Excelu	59

8.2 Seznam grafů

Graf 1 Přehled manipulovaného objemu palet	20
Graf 2 Podíl časů při plnění požadavků	25
Graf 3 Srovnání vzdáleností současného a navrhnutého stavu	41
Graf 4 Srovnání časů současného a navrhnutého řešení	42
Graf 5 Úspora navrhnutého řešení na motohodinách v Kč	43
Graf 6 Srovnání vzdáleností variant v km	45
Graf 7 Srovnání časů variant v hodinách	46
Graf 8 Srovnání nákladů na motohodiny v Kč	47
Graf 9 Pracovní vytížení VZV v %	48
Graf 10 Roční náklady podle počtu VZV	50

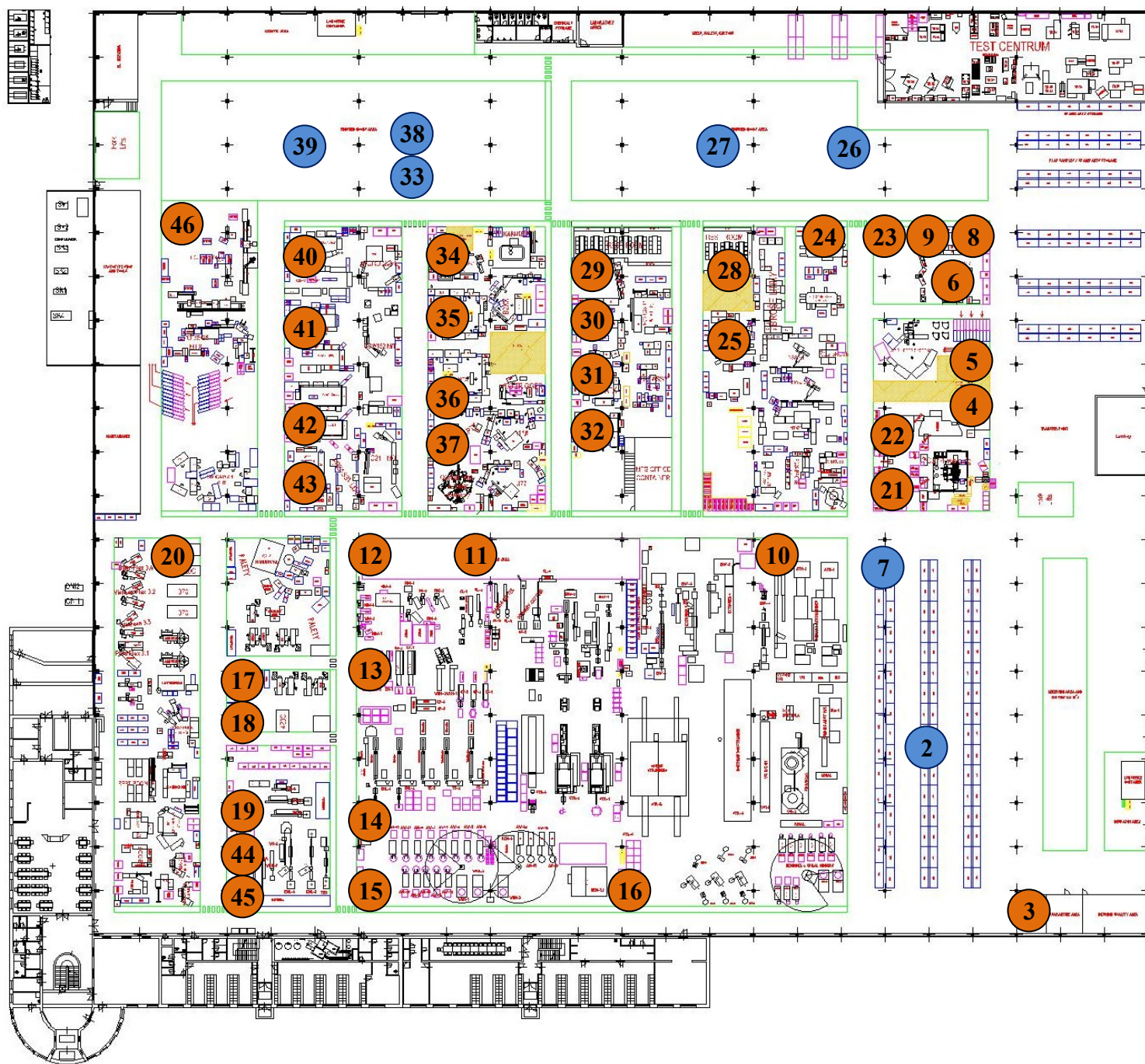
8.3 Seznam tabulek

Tab. 1 Rozpětí časů frekvence potřeb manipulace.....	22
Tab. 2 Rok výroby používaných VZV v podniku.....	24
Tab. 3 Ujeté vzdálenosti současného stavu.....	24
Tab. 4 Náklady na motohodinu [12]	25
Tab. 5 Přehled Mth a jejich přepočet na náklady.....	25
Tab. 6 Úkony s orientačními časy a četnostmi výskytu.....	26
Tab. 7 Naměřené operační časy VZV	29
Tab. 8 Statistické ukazatele operačních časů	29
Tab. 9 Naměřené rychlosti pojezdu VZV	32
Tab. 10 Statistické ukazatele naměřených rychlostí pojezdu.....	32
Tab. 11 Surová vstupní data pro model	35
Tab. 12 Upravená vstupní data pro model	36
Tab. 13 Srovnání vzdáleností současného stavu s výsledky navrhnutého řešení	41
Tab. 14 Srovnání časů současného stavu s výsledky navrhnutého řešení.....	42
Tab. 15 Úspora na neproduktivních jízdách v KČ.....	43
Tab. 16 Srovnání vzdáleností současného stavu s měnícím se počtem obsluhujících VZV....	45
Tab. 17 Srovnání časů současného stavu s měnícím se počtem obsluhujících VZV	46
Tab. 18 Srovnání nákladů současného stavu s měnícím se počtem obsluhujících VZV	47
Tab. 19 Srovnání pracovního vytížení jednotlivých variant	48
Tab. 20 Náklady na jeden používaný VZV	49
Tab. 21 Počet kusů VZV s rokem výroby a předpokládanou životností	49
Tab. 22 Porovnání ročních nákladů podle počtu obsluhujících VZV	50
Tab. 23 Porovnání výsledků řešení za měsíc na neproduktivních jízdách.....	51
Tab. 24 Porovnání výsledků simulace za měsíc pro 1 a 10 obsluhujících VZV	52
Tab. 25 Srovnání nákladů na 1 a 5 VZV	53
Tab. 26 Předpokládané náklady na zavedení vozíkového terminálu	56
Tab. 27 Úspora navrženého řešení a náklady investice	56

9 Seznam příloh

Příloha A	Identifikace manipulačních míst zakreslených do layoutu
Příloha B	Matice vzdáleností manipulačních míst
Příloha C	Informace o vozíku Linde H 30 D Ex řada 351
Příloha D	Informace o vozíku Linde H 25 D řada 392
Příloha E	Ohradová paleta kovová
Příloha F	Euro paleta

Příloha A - Identifikace manipulačních míst zakreslených do layoutu



- 1 Depo VZV
- X Skladová místa
- X Výrobní linky

Příloha B - Matice vzdáleností manipulačních míst [m]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
1	0	38	50	71	78	90	71	102	106	81	121	141	159	151	138	98	181	183	171	168	76	86	115	119	117	129	144	126	147	141	131	123	172	169	164	151	143	182	202	190	177	164	158	164	158	210
2	38	0	37	52	58	70	34	83	87	44	84	104	121	114	101	61	144	145	133	131	39	48	77	81	79	91	106	88	109	103	93	86	135	132	127	113	106	144	164	152	139	126	120	126	120	173
3	50	37	0	70	77	89	71	102	105	81	121	141	123	101	88	48	140	132	120	167	76	85	114	118	116	128	143	125	146	140	130	123	172	169	164	150	143	181	201	189	176	163	157	114	107	210
4	71	52	70	0	7	19	36	31	35	46	86	106	123	145	152	112	146	153	165	133	41	46	44	48	81	58	76	75	92	98	95	88	105	109	114	115	108	114	134	129	141	128	122	171	172	175
5	78	58	77	7	0	12	42	25	28	52	92	112	130	152	159	119	152	159	171	139	47	39	38	42	77	51	70	69	86	92	102	94	98	103	108	121	114	108	128	123	136	135	129	178	178	175
6	90	70	89	19	12	0	54	13	16	64	104	124	142	164	171	131	164	171	183	151	50	41	27	31	67	41	59	58	75	81	91	99	88	92	97	111	118	97	117	112	125	138	141	190	190	164
7	71	34	71	36	42	54	0	57	54	10	50	70	87	110	123	83	110	117	129	97	5	14	43	48	46	57	72	54	76	70	60	52	101	98	93	80	72	110	130	118	105	92	87	136	142	139
8	102	83	102	31	25	13	57	0	4	67	107	127	145	167	180	140	167	174	186	154	52	43	14	18	54	28	46	45	62	68	78	86	75	79	84	98	105	84	104	99	112	125	131	193	199	151
9	106	87	105	35	28	16	54	4	0	64	104	124	141	164	176	136	164	171	183	150	49	40	11	15	50	24	43	42	59	65	75	82	71	76	81	94	102	81	101	96	109	122	127	189	196	148
10	81	44	81	46	52	64	10	67	64	0	40	60	77	100	113	93	100	107	119	87	15	24	53	58	36	67	62	44	66	60	50	42	91	88	83	70	62	100	120	108	95	82	77	126	132	129
11	121	84	121	86	92	104	50	107	104	40	0	20	37	60	73	113	60	67	79	47	55	64	93	90	56	99	80	64	46	40	30	22	53	48	43	30	22	62	82	68	55	42	37	86	92	89
12	141	104	141	106	112	124	70	127	124	60	20	0	17	40	53	93	40	47	59	27	75	84	113	109	76	119	100	84	66	60	50	42	53	48	43	30	22	62	62	48	35	22	17	66	72	69
13	159	121	123	123	130	142	87	145	141	77	37	17	0	22	35	75	23	30	42	44	93	102	131	127	93	136	118	102	83	77	67	59	70	66	61	47	39	79	80	66	53	40	34	48	55	86
14	151	114	101	145	152	164	110	167	164	100	60	40	22	0	13	53	39	31	43	67	115	124	153	149	115	159	140	124	105	99	89	82	92	88	83	69	62	102	102	88	75	62	56	39	32	109
15	138	101	88	152	159	171	123	180	176	113	73	53	35	13	0	40	52	44	32	80	128	137	166	162	128	172	153	137	118	112	102	95	105	101	96	82	75	115	115	101	88	75	69	26	19	122
16	98	61	48	112	119	131	83	140	136	93	113	93	75	53	40	0	92	84	72	120	88	97	126	130	128	140	155	137	158	152	142	135	145	141	136	122	115	155	155	141	128	115	109	66	59	162
17	181	144	140	146	152	164	110	167	164	100	60	40	23	39	52	92	0	7	19	28	115	124	153	149	116	159	140	124	106	100	90	82	92	88	83	70	62	102	82	68	55	42	36	26	32	70
18	183	145	132	153	159	171	117	174	171	107	67	47	30	31	44	84	7	0	12	35	122	131	160	156	123	166	147	131	113	107	97	89	99	95	90	77	69	109	89	75	62	49	43	19	25	77
19	171	133	120	165	171	183	129	186	183	119	79	59	42	43	32	72	19	12	0	47	134	143	172	168	135	178	159	143	125	119	109	101	111	107	102	89	81	121	101	87	74	61	55	7	13	89
20	168	131	167	133	139	151	97	154	150	87	47	27	44	67	80	120	28	35	47	0	102	111	140	136	103	145	127	111	93	86	77	69	79	75	70	57	49	88	69	55	42	29	23	54	60	42
21	76	39	76	41	47	50	5	52	49	15	55	75	93	115	128	88	115	122	134	102	0	9	38	42	51	52	70	59	81	75	65	57	99	103	98	85	77	109	128	123	111	97	92	141	147	144
22	86	48	85	46	39	41	14	43	40	24	64	84	102	124	137	97	124	131	143	111	9	0	29	33	60	43	61	61	77	83	74	66	90	95	100	94	86	99	119	114	120	107	101	150	156	153
23	115	77	114	44	38	27	43	14	11	53	93	113	131	153	166	126	153	160	172	140	38	29	0	4	40	14	32	31	48	54	64	72	61	65	70	84	91	70	90	85	98	111	117	179	185	137
24	119	81	118	48	42	31	48	18	15	58	90	109	127	149	162	130	149	156	168	136	42	33	4	0	36	10	28	27	44	50	60	68	57	61	66	80	87	66	86	81	94	107	113	175	181	133
25	117	79	116	81	77	67	46	54	50	36	56	76	93	115	128	128	116	123	135	103	51	60	40	36	0	46	27	9	43	49	59	58	55	60	65	78	78	65	85	80	93	98	92	141	148	133
26	129	91	128	58	51	41	57	28	24	67	99	119	136	159	172	140	159	166	178	145	52	43	14	10	46	0	35	37	54	60	70	77	66	71	76	89	97	75	95	91	104	117	123	184	191	124
27	144	106	143	76	70	59	72	46	43	62	80	100	118	140	153	155	140	147	159	127	70	61	32	28	27	35	0	18	35	41	51	58	48	52	57	70	78	57	77	72	85	98	104	165	172	108
28	126	88	125	75	69	58	54	45	42	44	64	84	102	124	137	137	124	131	143	111	59	61	31	27	9	37	18	0	34	40	50	58	47	51	56	70	77	56	76	71	84	97	101	150	156	125
29	147	109	146	92	86	75	76	62	59	66	46	66	83	105	118	158	106	113	125	93	81	77	48	44	43	54	35	34	0	6	16	24	28	33	38	51	59	37	57	52	65	78	82	131	138	106
30	141	103	140	98	92	81	70	68	65	60	40	60	77	99	112	152	100	107	119	86	75	83	54	50	49	60	41	40	6	0	10	18	34	39	44	57	62	44	63	59	72	82	76	125	132	112
31	131	93	130	95	102	91	60	78	75	50	30	50	67	89	102	142	90	97	109	77	65	74	64	60	59	70	51	50	16	10	0	8	44	49	54	59	52	53	73	68	81	72	66	115	122	119
32	123	86	123	88	94	99	52	86	82	42	22	42	59	82	95	135	82	89	101	69	57	66	72	68	58	77	58	58	24	18	8	0	52	56	61	52	44	61	81	76	77	64	59	108	114	111
33	172	135	172	105	98	88	101	75	71	91	53	53	70	92	105	145	92	99	111	79	99	90	61	57	55	66	48	47	28	34	44	52	0	5	10	23	31	9	29	24	37	50	56	118	124	78
34	169	132	169	109	103	92	98	79	76	88	48	48	66	88	101	141	88	95	107	75	103	95	65	61	60	71	52	51	33	39	49	56	5	0	5	18	26	14	34	29	42	55	61	114	120	82
35	164	127	164	114	108	97	93	84	81																																					

Příloha C - Informace o vozíku Linde H 30 D Ex řada 351



Typové označení:	H 30 D Ex řada 351
Pohon:	diesel
Výška zdvihu:	3 250 mm
Stavební výška zvedacího zařízení:	2 305 mm
Zvedací zařízení:	standard
Výška přes střechu:	2 250 mm
Nosnost:	3 000 kg
Rozměry vidlic: (š * v * d)	51 mm * 131 mm * 1 000 mm
Šířka pracovní uličky:	4 196 mm

Příloha D - Informace o vozíku Linde H 25 D řada 392



Typové označení:	H 25 D řada 392
Pohon:	diesel
Výška zdvihu:	3 150 mm
Stavební výška zvedacího zařízení:	2 227 mm
Zvedací zařízení:	standard
Výška přes střechu:	2 170 mm
Nosnost:	2 500 kg
Rozměry vidlic: (š * v * d)	100 mm * 45 mm * 1 000 mm
Šířka pracovní uličky:	4 210 mm

Příloha E - Ohradová paleta kovová



Ohradová paleta, kovová, 1200 x 800 mm, 4 plné bočnice, barva modrá RAL5010

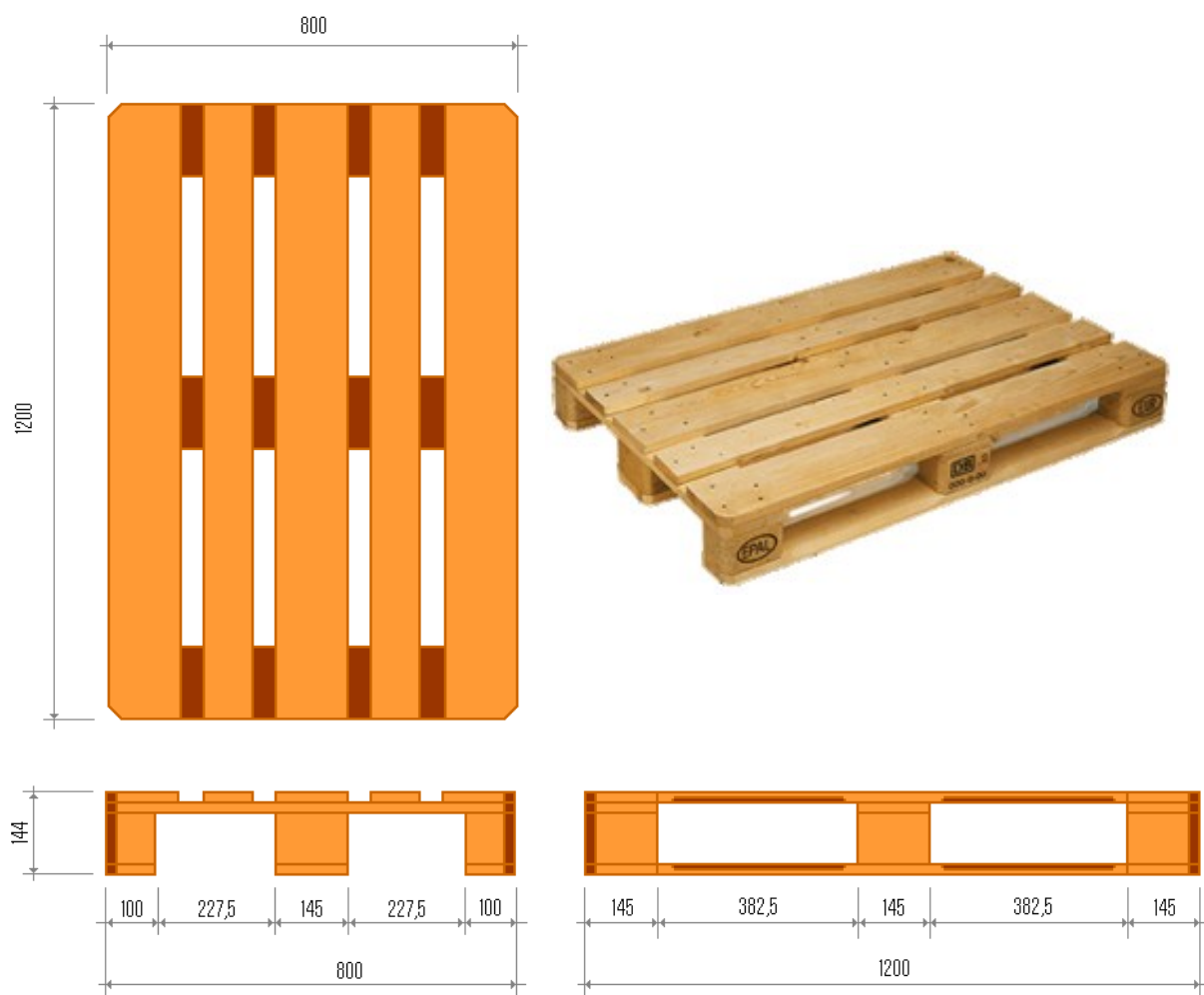
Robustní svařovaná ocelová konstrukce, po celém obvodu vyztužená vruby. Tloušťka plechu obvodových stěn 1,5 mm, plech použitý na podlahu má tloušťku 2 mm. Rohové sloupky s jeřábovými oky. Převážníky jsou využitelné jako ohradové palety pro skladování i dopravu. Lze je stohovat, celková stohovací nosnost 3000 kg.

Provedení: čtyři plné bočnice

Parametry:

délka x šířka	1200 x 800	mm
výška	600	mm
nosnost	1000	kg
hmotnost	50	kg
povrchová úprava	lak modrý RAL5010	

Příloha F - Euro paleta



Euro paleta je plochá dřevěná paleta o rozměrech 1200×800×144 mm (délka × šířka × výška), s plochou 0,96 m². Váha palety je cca 20–24 kg dle vlhkosti dřeva. Jednotlivé dřevěné díly palety jsou spojené 78 speciálními hřebíky. Výroba europalet je definována velmi podrobně - je definováno např. i umístění jednotlivých hřebíků. Nosnost europalet je nejvýše 1500 kg, dovoleno je stohovat nejvýše tři euro palety na sebe.

Poděkování

Na samotný závěr této práce bych ráda poděkovala paní Ing. Vladimíře Schindlerové za vedení, podporu a cenné připomínky při tvorbě diplomové práce. Rovněž děkuji panu Ing. Jiřímu Holíkovi za odborné rady, čas a veškerou pomoc při řešení zadaného problému.